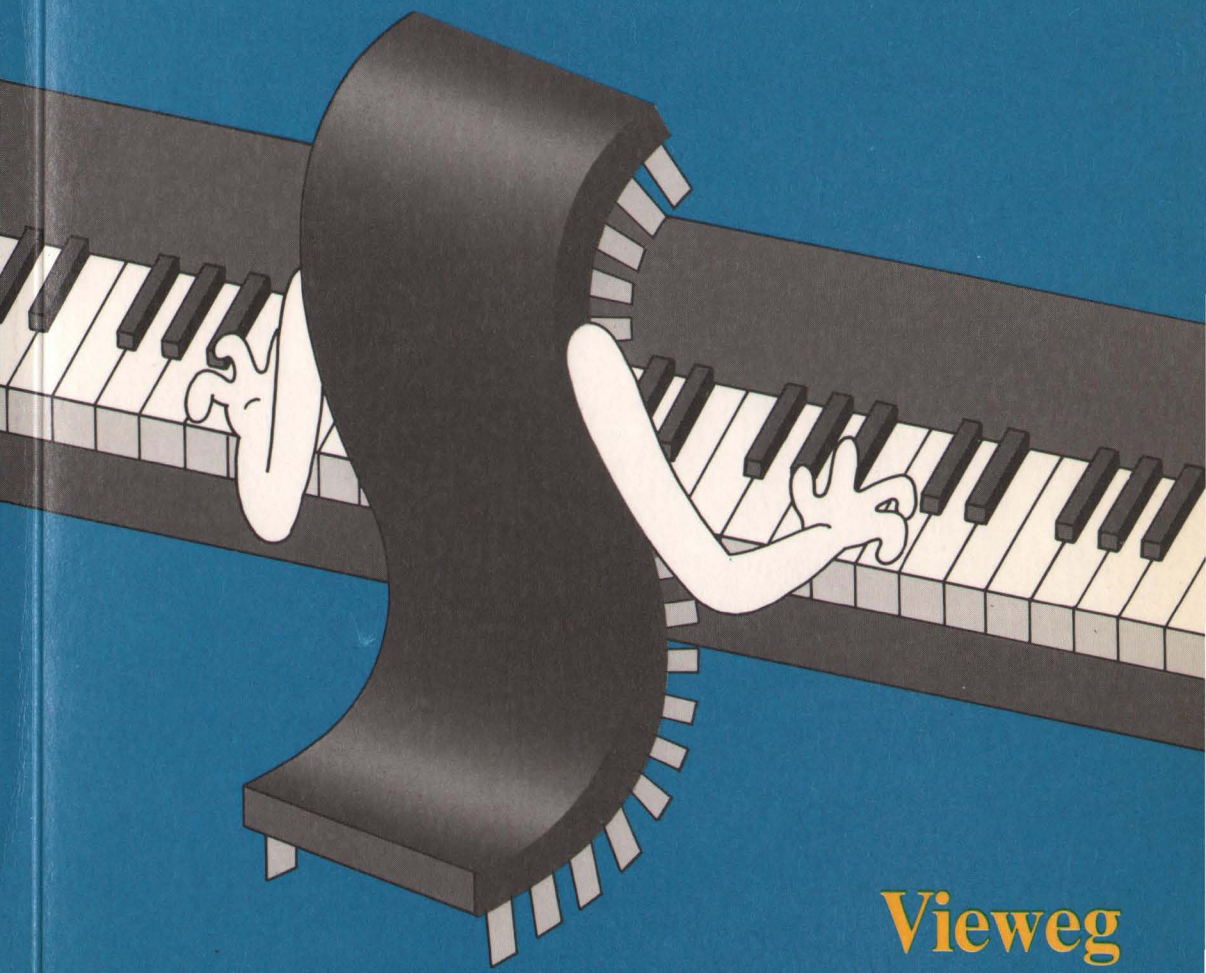
Eugen Gehrer

Musik mit dem TI-99/4A

Klangerzeugung und Syntheseprogramme



Vieweg

Eugen Gehrer

Musik mit dem TI-99/4A

Anwendungen von Mikrocomputern

Digitale Regelung mit Mikroprozessoren
von Norbert Hoffmann

Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik
von Dietmar Herrmann

Mathematische Routinen VC-20 Elektrotechnik/Elektronik
von Ernst-Friedrich Reinking

Numerische Mathematik
von Dietmar Herrmann

Textverarbeitung
von A. Tölke

Spaß mit Algorithmen
von J. Weilharter

Spielprogramme für den Apple IIe
von H. Franklin, J. Koltnow, L. Finkel

Musik mit dem TI-99/4A
von Eugen Gehrer

Vieweg

Eugen Gehrer

Musik mit dem TI-99/4A

Klangerzeugung und Syntheseprogramme

Herausgegeben von Harald Schumny

Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden

Das in diesem Buch enthaltene Programm-Material ist mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Der Autor übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Bedeutung dieses Programm-Materials oder Teilen davon entsteht.

1984
Alle Rechte vorbehalten
© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1984

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Umschlaggestaltung: Peter Lenz, Wiesbaden
Satz: Vieweg, Braunschweig
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich
Printed in Germany

ISBN 3-528-04277-X

Vorwort

Die Ausbreitung des Computers ist auf keinem Gebiet mehr aufzuhalten. Während er früher nur eine seelenlose Rechenmaschine war („Blechtrottel"), wird er heute durch die anwenderfreundlichen Dialogsprachen ein immer sympatischeres Werkzeug der allgemeinen Informationsverarbeitung und findet dadurch nicht zuletzt auch Eingang in den musischen Bereich, wie z. B.: der Graphik oder der Musik. Beinahe jeder moderne Homecomputer besitzt schon einen oder mehrere Tongeneratoren, so daß der Computermusik a la "Do it yourself" nichts mehr im Wege steht.

Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, den Computer als Hilfsmittel zur Musikerzeugung zu verwenden, wollen wir uns hier in diesem Buch auf die Beschreibung der Mittel und Möglichkeiten beschränken, die ein Homecomputer ohne externe Zusätze bietet. Die zugrundeliegende Programmiersprache ist BASIC. Da die Sprachelemente, die sich auf die Aktivierung des Tongenerators des Computers beziehen, noch nicht normiert wurden, war es notwendig, diese Anweisungen im Dialekt eines bestimmten Computertyps zu beschreiben. Im vorliegenden Fall handelt es sich um den Computer TI-99/4A, der mit drei Ton- und einem Rauschgenerator über eines der umfassendsten derzeit erhältlichen Tonerzeugungssysteme verfügt. Diesbezügliche Anpassungen der Programme an andere Computertypen sind jedoch, ohne daß sich am grundsätzlichen Verlauf der Programme etwas ändert, möglich.

Zum Verständnis dieses Buches werden vom Leser lediglich Grundkenntnisse in der Programmiersprache BASIC vorausgesetzt.

Es sollen im folgenden die Probleme und Problemlösungen erläutert werden, die beim Musizieren mittels Computer auftreten. In den drei Kapiteln: Klangsyntheseprogramm, Melodieeingabeprogramm und Melodieabspielprogramm werden im Text zunächst die Problemstellungen erläutert. Anschließend werden zum Teil im Text, zum Großteil jedoch in den übersichtlicheren Programmablaufplänen die Lösungswege aufgezeigt. Die Auflistung eines durchgetesteten Programms zum Schluß eines jeden Kapitels ermöglicht zum einen das Nachlesen von konkreten Details der Programmrealisierung und zum anderen auch die direkte Anwendung dieses Programms im Computer des Lesers.

Eugen Gehrer

Innsbruck, im Oktober 1983

Inhaltsverzeichnis

1 Tonerzeugung mit dem Computer 1

1.1 Tondauer 1
1.2 Frequenz 1
1.3 Rauschen 2
1.4 Lautstärke 2

2 Klangsyntheseprogramm 3

2.1 Klangschleifen 3
2.2 Konstante Töne 5
2.2.1 Tondauer von konstanten Tönen 5
2.2.2 Frequenzbelegung 6
2.2.3 Schwebungseffekt 8
2.2.4 Obertonspektrum 9
2.2.5 Zusammenfassende Übersicht über die Funktion der Parameter 9
2.2.6 Programmbeschreibung 10
2.3 Variable Töne 16
2.3.1 Hüllkurve 16
2.3.2 Tremolo 19
2.3.4 Klangverlauf 19
2.3.5 Programm zur Eingabe von variablen Klängen 19
2.4 Programmauflistung 26

3 Melodieeingabeprogramm 36

3.1 Direkte Melodieeingabe 36
3.1.1 Toneingabeschleife 38
3.2 Melodieabspielprogrammtest 40
3.2.1 Normierung der Tonlängen 41
3.2.2 Klangregisterauswahl 44
3.2.3 Klangschleifen 45
3.2.4 Wiederholung der Melodie 45
3.3 Melodieeingabe durch Spielen auf der Tastatur 45
3.4 Bearbeitung der Melodie 51
3.5 Programmauflistung 58

4 Melodieabspielprogramm für konstante Töne 69

4.1 Aufgabenstellung 69
4.2 Datenspeicherung 69
4.3 Abfragen von Zusatzinformationen 69
4.4 Abspielen der Melodie 72
4.5 Programmauflistung 74

5 Melodieabspielprogramm für variable Töne 78

5.1 Besonderheiten des Programms 78
5.2 Programmauflistung 82

6 Verbesserung des Klangs durch Effektgeräte 86

6.1 Effektgerätemodule 86

Literatur 88

Sachwortverzeichnis 89

1 Tonerzeugung mit dem Computer

Im Dialekt des TI-99/4A ist der Tongenerator durch eines der vier folgenden Statements aktivierbar:

CALL SOUND (Dauer, Frequenz, Lautstärke)
CALL SOUND (Dauer, Frequenz 1, Lautstärke 1, Frequenz 2, Lautstärke 2)
CALL SOUND (Dauer, Frequenz 1, Lautstärke 1, Frequenz 2, Lautstärke 2, Frequenz 3, Lautstärke 3)
CALL SOUND (Dauer, Frequenz 1, Lautstärke 1, Frequenz 2, Lautstärke 2, Frequenz 3, Lautstärke 3, Frequenz 4, Lautstärke 4)

1.1 Tondauer

Die Dauer des Tones wird in ganzen Zahlen von 1 bis 4250 angegeben. Der eingegebene Wert entspricht ungefähr der Tonlänge in Millisekunden (ms). Die tatsächlich vom Computer erzeugte Tonlänge kann jedoch um ca. 1/60-tel Sekunde vom eingegebenen Wert abweichen. Der Aufruf und die Durchführung einer CALL-SOUND-Anweisung benötigt folgende Mindestzeiten:

bei 1 Frequenz 1/13-tel Sekunde (0,0775 s)
bei 2 Frequenzen 1/9,5-tel Sekunde (0,105 s)
bei 3 Frequenzen 1/8-tel Sekunde (0,125 s)
bei 4 Frequenzen 1/6,9-tel Sekunde (0,145 s)

Man kann daher maximal 13 (9,5; 8; 6,9) Tonkorrekturen pro Sekunde vornehmen, wenn die CALL-SOUND-Anweisung 1 (2, 3, 4) Frequenzangaben enthält.

Das Programm läuft weiter, während der Ton gespielt wird. Wenn man für die Tondauer eine positive Zahl (ohne Vorzeichen) eingibt, so wird bei zwei aufeinanderfolgenden CALL-SOUND-Anweisungen zuerst der erste Ton in der vollen, angegebenen Tonlänge gespielt und dann kommt der nächste Ton an die Reihe. Enthält das zweite CALL-SOUND-Statement eine negative Tondauerangabe, so wird der erste Ton nach dem Lesen der zweiten Anweisung (also nach der oben angeführten Mindestzeit) abgebrochen und nahtlos durch den zweiten Ton ersetzt. Bei einer Folge von CALL-SOUND-Anweisungen mit negativer Tondauer erfolgt nach jeder Mindestzeit eine Korrektur des Klanges.

1.2 Frequenz

Für die Frequenzen können ganze Zahlen von 110 bis 44733 eingegeben werden. Nicht ganze Zahlen werden gerundet. Die eingegebenen Werte haben die Einheit *Hertz* (Hz: Schwingungen pro Sekunde). Die tatsächlich erzeugte Frequenz hängt von der digitalen Auflösung des Tongenerators ab. Sie kann, besonders bei hohen Frequenzen, bis zu 10 % vom eingegebenen Wert abweichen. Die Frequenzen der tiefen Töne stimmen jedoch mit den eingegebenen Werten sehr gut überein.

1.3 Rauschen

Gibt man anstelle der Frequenz einen negativen Wert zwischen −1 und −8 ein, so entsteht kein Ton, sondern ein Rauschen, das zur Erzeugung von bestimmten Klangeffekten verwendet werden kann. Bei der Eingabe der Werte −1, −2 und −3 entsteht ein periodisches Geräusch (*Noise*) mit fester Frequenz. Die Klanghöhe des Tonsignals nimmt dabei von 1 nach 3 hin ab. Bei −4 entsteht ein Ton, dessen Höhe mit der Frequenz des dritten eingegebenen Tones (sofern vorhanden) zunimmt. Die Werte −5, −6 und −7 führen zu einem weißen Rauschen mit in dieser Reihenfolge abnehmender, jedoch ansonsten konstanter Klanghöhe. Bei −8 entsteht ein weißes Rauschen, dessen Klanghöhe proportional zur Frequenz des dritten Tones ansteigt. (Wenn man keine dritte Tonfrequenz angibt, entsteht nur ein tiefes Rattern.)

1.4 Lautstärke

Für die Festlegung der Lautstärke können Werte von 0 bis 30 eingegeben werden. Die Werte werden auf ganze Zahlen gerundet. Die Lautstärke nimmt mit der Höhe der Werte ab. 0 und 1 klingen gleich laut. Im Bereich zwischen 1 und 29 ist die Amplitude des Tones ungefähr umgekehrt proportional zum eingegebenen Wert. Durch den Wert 30 wird der Ton fast gänzlich abgestellt.

Indirekte Eingabe der Werte

Für die Dauer, die Frequenz und die Lautstärke können in den CALL-SOUND-Statements auch numerische Ausdrücke eingesetzt werden. Diese Ausdrücke werden vor der Durchführung des CALL-SOUND-Statements berechnet; die Resultate werden gerundet und eingesetzt.

2 Klangsyntheseprogramm

Die drei Tongeneratoren des Computers können grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen zur Musikerzeugung beitragen:

1. Man kann jeden der drei Tongeneratoren eine eigene Melodie (erste und zweite Stimme und Begleitung) spielen lassen und dadurch ein von drei gleichartigen Instrumenten gebildetes „Trio" nachahmen. Der „Sound" eines derartigen Instrumentes entspricht einer einfachen, unmodulierten Rechteckschwingung eines Synthesizers (klingt matt, hornartig) und läßt daher sehr zu wünschen übrig.
2. Es ist auch möglich, die drei Tongeneratoren harmonisch so aufeinander abzustimmen, daß sie zwar nur eine einzige Melodie spielen, dafür aber durch die verschiedenen Möglichkeiten des Zusammenklangs den Weg zur Synthese einer beinahe unüberschaubaren Menge von Klangfarben eröffnen.

Wir wollen uns in diesem Kapitel darauf konzentrieren ein Klangsyntheseprogramm zu entwickeln, das dem Programmanwender die Konstruktion von Klangregistern ermöglicht. Es soll dabei ein Ein-/Ausgabedialog, basierend auf den Begriffen der Synthesizertechnik, geführt werden. Die anschaulich formulierten Eingabewerte (Schwebungsfrequenz, Amplitude, Tastverhältnis, Tremolotiefe usw.) werden in Daten umgerechnet, die beim Aufrufen eines bestimmten Registers in das klangerzeugende und die Melodie abspielende CALL-SOUND-Statement eingesetzt werden und so den gewünschten „Sound" erzeugen.

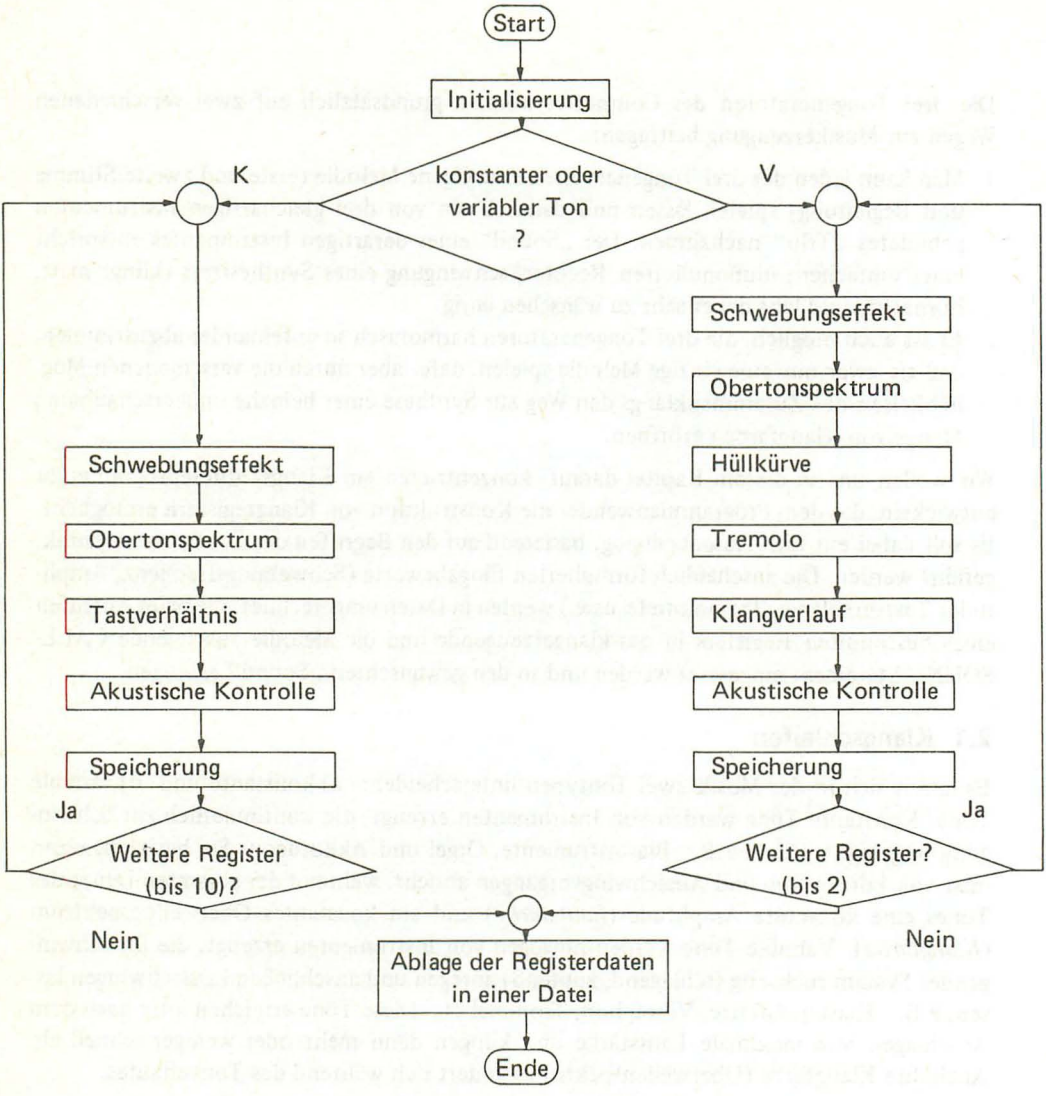
2.1 Klangschleifen

Es lassen sich in der Musik zwei Tontypen unterscheiden: a) konstante und b) variable Töne. Konstante Töne werden von Instrumenten erzeugt, die kontinuierlich zur Schwingung angeregt werden, z.B.: Blasinstrumente, Orgel und Akkordeon. Sie besitzen, wenn man von kurzen Ein- und Ausschwingvorgängen absieht, während der gesamten Dauer des Tones eine konstante Amplitude (*Lautstärke*) und ein konstantes Oberwellenspektrum (*Klangfarbe*). Variable Töne werden hingegen von Instrumenten erzeugt, die ihr schwingendes System ruckartig (schlagend, zupfend) anregen und anschließend ausschwingen lassen, z.B.: Klavier, Gitarre, Vibraphon, Trommel etc. Diese Töne erreichen kurz nach dem Anschlagen ihre maximale Lautstärke und klingen dann mehr oder weniger schnell ab. Auch ihre Klangfarbe (Oberwellenspektrum) ändert sich während des Tonverlaufes.

Aus diesen Gründen sollen auch hier zwei Klangschleifentypen, je eine für konstante und variable Töne, verwendet werden (vgl. **Flußdiagramm 2.1**).

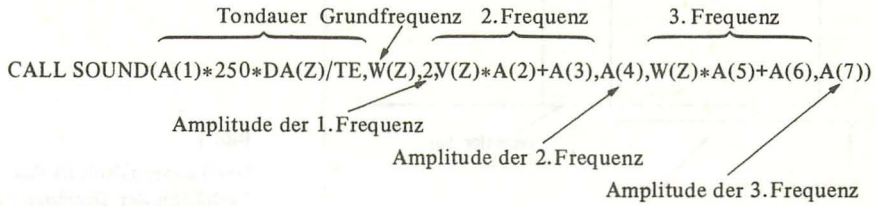
Flußdiagramm 2.1

Übersicht: Klangsyntheseprogramm



2.2 Konstante Töne

Ein konstanter Ton kann durch das folgende, allgemein formulierte Statement erzeugt werden:



Zum Abspielen einer Melodie wird ein derartig formuliertes CALL-SOUND-Statement in eine Klangschleife eingebaut, welche (in groben Zügen) folgende Struktur hat:

```
FOR Z=1 TO GR
CALL SOUND (...)
NEXT Z
```

Dabei ist Z die Tonzählernummer und GR die Nummer des letzten Tones. Die Informationen über den Melodieverlauf werden so gespeichert, daß man die Werte für die Tonlänge DA(Z) und die Grundfrequenzen W(Z), V(Z) der in einer Melodie aufeinanderfolgenden Töne in den Feldern DA(Z), W(Z) und V(Z) ablegt. Beim Abspielen der Melodie werden dann einfach die Werte für die Tonlänge und die Grundfrequenz des Z-ten Tones in das CALL-SOUND-Statement der Klangschleife eingelesen. Diese Werten werden dann noch durch die sieben Klangparameter A(X) modifiziert, bevor die CALL-SOUND-Anweisung den Z-ten Ton der Melodie im Klang des durch die sieben Parameter charakterisierten Registers abspielen läßt.

Die Aufgabe des Klangsyntheseprogramms ist es nun, diese sieben Klangparameter aus den eingegebenen Klangwünschen des Programmanwenders zu ermitteln und unter einem bestimmten Registernamen zu speichern.

Die Eingabe der Daten (in anschaulicher Form) für die Tondauer- und Grundfrequenzlisten der Melodie ist die Aufgabe des später folgenden Melodieeingabeprogramms (Kapitel 3).

Die Melodieabspielprogramme (Kapitel 4 und 5) verknüpfen schließlich die Registerdaten mit den Melodiedaten und lassen das Musikstück im gewünschten Klang und Tempo erklingen.

2.2.1 Tondauer von konstanten Tönen

Die Tondauer hängt von drei Faktoren ab:

1. *Tonlänge*. Die Variable DA(Z) enthält die Angabe über die Tonlänge. Je nachdem ob es sich um eine achtel, viertel, halbe oder ganze Note handelt, ist dies ein Wert von 2, 4, 8 oder 16 (siehe Melodieeingabeprogramm).
2. *Tempo*. Um die Melodie mit verschiedenen Geschwindigkeiten abspielen zu können, ist eine Division durch einen Tempofaktor TE vorgesehen, der die Anzahl der Anschläge einer Viertelnote pro Sekunde angibt. Er wird erst im Melodieabspielprogramm eingegeben.

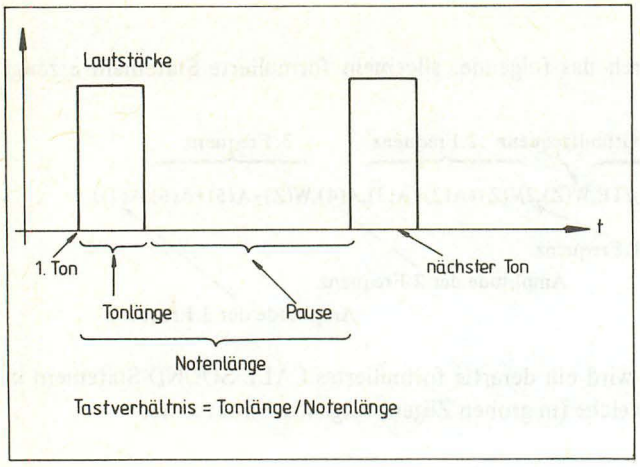


Bild 1
Das Tastverhältnis ist das Verhältnis der Tonlänge zur Notenlänge. Es hat einen Einfluß auf die Härte des Klanges.

3. *Tastverhältnis.* Der einzige Faktor, der über die Tondauer klangprägend wirkt und daher in diesem Klangsyntheseprogramm eingegeben wird, ist der Faktor A(1), der das Tastverhältnis bestimmt. Unter dem Tastverhältnis versteht man das Verhältnis der Tonlänge zur Notenlänge (siehe **Bild 1**).

Das Tastverhältnis prägt die „Schärfe" des Tones. Je kürzer der Ton wird (kleineres Tastverhältnis), desto härter und schärfer klingt der Ton. A(1) können (im vorliegenden Programm) Werte zwischen 0.05 und 1 zugeordnet werden. Der Tastverhältniseffekt wird in der Klangschleife des Melodieabspielprogramms dadurch erzeugt, daß während des A(1)-ten Anteils der Notenlänge der Ton gespielt und anschließend für die Dauer des (1-A(1))-ten Teiles der Notenlänge eine Pause erzeugt wird (siehe Melodieabspielprogramm für konstante Töne, Kapitel 4).

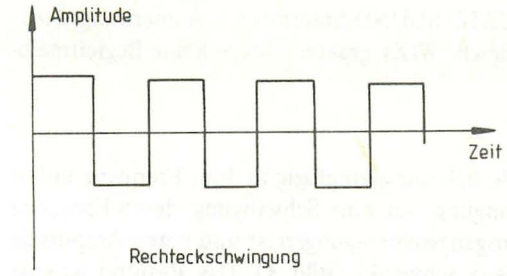
2.2.2 Frequenzbelegung

Grundfrequenz. Die Grundfrequenz (1. Frequenz) wird unmittelbar durch den Wert W(Z) bestimmt (siehe Melodieeingabeprogramm, Kapitel 3).

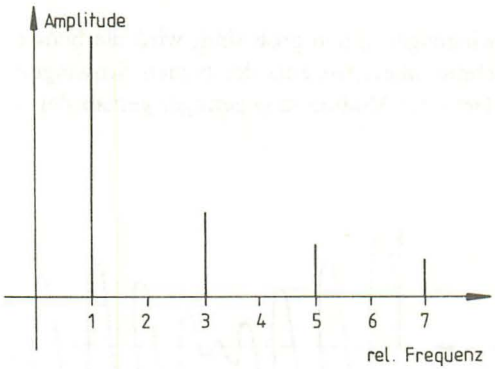
Amplitude der Grundfrequenz. Der Amplitude der 1. Frequenz wird ein fixer Wert (2) zugeordnet. Die Grundfrequenz ist die Bezugswelle, auf die die übrigen Schwingungen abgestimmt werden.

2. und 3. Frequenz. Wenn mehrere Töne gleichzeitig gespielt werden, so klingt die Tonsumme nur dann harmonisch, wenn die Frequenzen der verschiedenen Töne in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Bezogen auf den Grundton sollten die übrigen Töne eines Dreiklangs Frequenzen besitzen, die einem ganzzahligen Vielfachen (2, 3, 4, 5 etc.) oder einem ganzzahligen Vielfachen dividiert durch eine Potenz von 2 (3/2 = 1,5, 5/4 = 1,25 etc.) entsprechen.

Töne, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschwingung ist, können in erster Näherung als Obertöne des Grundtones betrachtet werden. Es muß dabei jedoch berücksichtigt werden, daß der Tongenerator des Computers Rechteckschwingungen erzeugt, die ihrerseits das mit **Bild 2** gezeigte Frequenzspektrum aufweisen. Das heißt, wenn



Rechteckschwingung



Frequenzspektrum einer Rechteckschwingung

Bild 2

Die Tongeneratoren des Computers erzeugen Rechteckschwingungen. Diese enthalten in ihrem Obertonspektrum alle ungeradzahligen Obertonschwingungen mit proportional zur Frequenz abnehmenden Amplituden.

man eine Rechteckschwingung durch eine Fourieranalyse (mathematische Operation) in reine Sinusschwingungen (Schwingung eines ideal harmonischen Oszillators) zerlegt, so erkennt man, daß eine Rechteckschwingung aus einer Summe von Sinusschwingungen besteht, deren Frequenzen ein ungeradzahlieges Vielfaches (1, 2, 5, 7 etc.) der Grundschwingung sind und deren Amplituden umgekehrt proportional zur Frequenz abnehmen.

Mischt man daher zur Grundschwingung (sie besteht schon aus der 1., 3., 5. etc. Harmonischen) eine Rechteckschwingung mit z.B. der 4fachen Grundfrequenz, so mischt man nicht nur den 4. Oberton, sondern (im geringeren Ausmaß) auch den 12. und 20. etc. Oberton hinzu. Da die Amplitude der höheren Obertöne rasch abnimmt, wird ihr klanglicher Einfluß aber auch geringer.

Dividiert man eine Frequenz durch 2^n, so wird die Tonhöhe um n Oktaven nach unten verschoben. Töne, deren Frequenzen ein ganzzahliges Vielfaches dividiert durch 2^n der Grundfrequenz betragen, stellen daher um n Oktaven nach unten verschobene Obertöne dar. Ihr Zusammenklang mit dem Grundton ist ebenfalls harmonisch. Ein eindrucksvolles Beispiel dafür bietet der Dur-Dreiklang, der sich aus den relativen Frequenzen 1, 1,25 und 1,5 zusammensetzt.

Abstimmung der Töne. In der Praxis ist die Abstimmung des 2. und 3. Tones auf den Grundton recht einfach. Man multipliziert die Grundfrequenz W(Z) mit einem Faktor A(2) bzw. A(5), der die gewünschte relative Frequenz angibt und erhält so die Frequenz

des 2. bzw. 3. Tones. (Siehe angeführtes CALL-SOUND-Statement. Anmerkung dazu: V(Z) wird beim Melodieabspielprogramm gleich W(Z) gesetzt, sofern keine Begleitmelodie gespielt werden soll.)

2.2.3 Schwebungseffekt

Überlagert man zwei Sinusschwingungen, die sich nur geringfügig in ihrer Frequenz unterscheiden, so entsteht eine Schwebungsschwingung, d.h. eine Schwingung, deren Frequenz gleich dem Mittelwert der Frequenzen der Ausgangsschwingungen ist und deren Amplitude sinusförmig mit der halben Differenzfrequenz schwankt (**Bild 3**). Das Resultat ist eine amplitudenmodulierte Sinusschwingung.

Nur wenn die Amplituden der Ausgangsschwingungen gleich groß sind, wird die Schwebungsschwingung bis auf den Wert Null durchmoduliert. Ist eine der beiden Schwingungen kleiner, so wird die Schwebungstiefe (Tiefe der Modulation) geringer gemäß der in **Bild 4** angegebenen Formel.

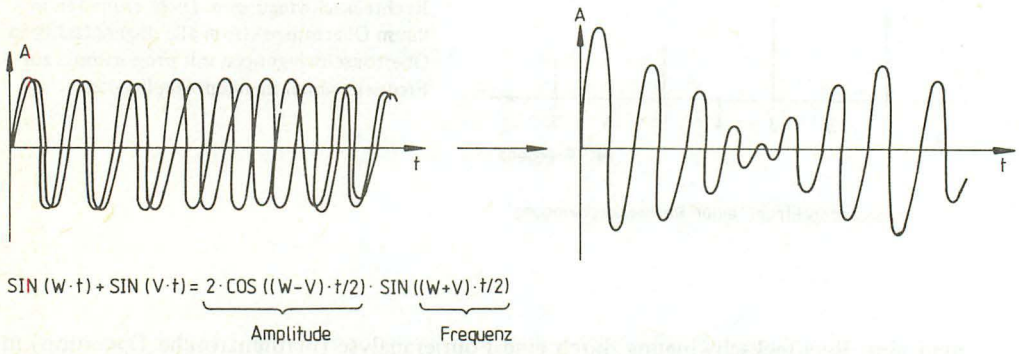


Bild 3 Durch die Überlagerung zweier Sinusschwingungen mit ähnlicher Frequenz entsteht eine schwebende, d.h. amplitudenmodulierte Sinusschwingung.

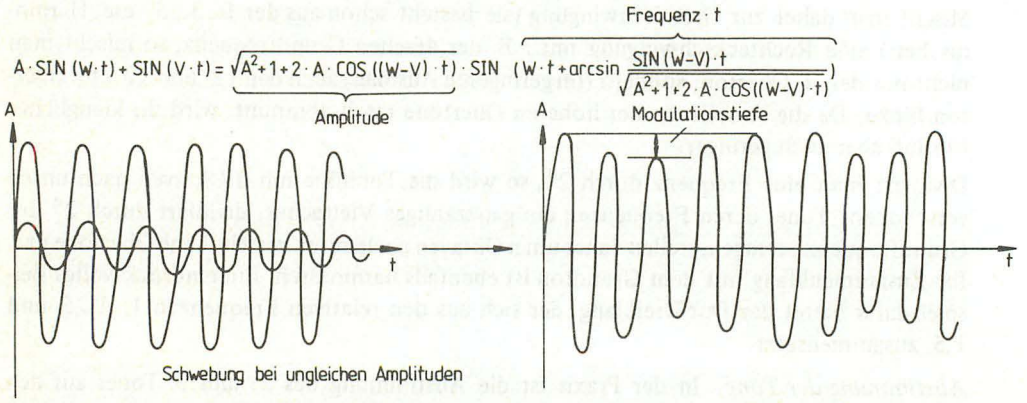


Bild 4 Die Modulationstiefe der Schwebungsschwingung hängt von den relativen Amplituden der Ausgangsschwingungen ab. Sie ist um so größer, je ähnlicher sich diese Amplituden sind.

Wenn man nun anstelle zweier Sinusschwingungen zwei Rechteckschwingungen miteinander überlagert, so kommt es nicht nur bei der Grundschwingung, sondern auch bei den Obertönen (die in einer Rechteckschwingung im Gegensatz zu einer Sinusschwingung enthalten sind) zu einer Schwebung. Da die Schwebungsfrequenz der einzelnen Obertöne unterschiedlich ist (sie steigt proportional zur Obertonfrequenz an), ändert sich dabei nicht nur die Amplitude der Gesamtwelle, sondern auch das Oberwellenspektrum (d.h. das Verhältnis der Amplituden der Obertöne) ständig, was zu einem fülligen, chorartigen Klangfarbenspiel führt. Die Schwebung von Rechteckschwingungen ist der eindrucksvollste Klangeffekt, den man aus dem Computer herausholen kann.

Wenn man nicht nur zwei, sondern gleich drei Wellen mit ähnlicher Frequenz miteinander überlagert, so kommt es nicht nur zu einer Amplitudenmodulation, sondern darüber hinaus noch zu einer Frequenzmodulation der einzelnen Harmonischen. Das Resultat ist ein voller, singender Sound.

Praktische Erzeugung des Schwebungseffekts. Auch die Erzeugung des Schwebungseffektes läßt sich mit dem allgemeinen CALL-SOUND-Statement leicht durchführen. Man setzt die Faktoren für die relativen Frequenzen (A(2) bzw. A(3)) gleich 1 und addiert dafür eine Konstante (A(3) bzw. A(6)) hinzu. Da sich dadurch die 2. bzw. 3. Frequenz stets um einen kleinen, jedoch konstanten Betrag von der Grundfrequenz unterscheidet, kommt es zu einer Schwebung mit der Schwebungsfrequenz A(3)/2 bzw. A(6)/2. Die Tiefe der Schwebungsmodulation hängt von der Differenz der Amplituden der Töne ab.

2.2.4 Obertonspektrum

In den natürlichen Klängen kommen in der Regel alle Obertöne vor. Der klangliche Unterschied zwischen den einzelnen Musikinstrumenten (Flöte, Geige, Orgel etc.) entsteht in erster Näherung lediglich durch die unterschiedliche Intensität der einzelnen Obertöne. Als Faustregel kann man davon ausgehen, daß bei geringer Intensität der Obertöne der Klang ruhig ist (Flöte), während eine hohe Obertonintensität zu hellen, scharfen Klängen führt (Trompete).

Der Computer ermöglicht die Einstellung der Lautstärke (Amplitude) der einzelnen Töne in 30 Stufen. Von der ersten bis zur 29. Stufennummer ist die Amplitude ungefähr gleich dem Kehrwert der Stufennummer. Die 30. Stufe schaltet den Ton praktisch gänzlich aus.

Da man der Grundschwingung einen fixen Amplitudenwert zugeordnet hat (Parameter = 2, siehe vorne), bestimmt man das Obertonspektrum im wesentlichen durch die Eingabe der relativen Amplituden (bezogen auf die Grundschwingung) der 2. und 3. Schwingung. Die Parameter, welche diese Amplituden bestimmen, werden über die Variablen A(4) bzw. A(7) in das allgemeine CALL-SOUND-Statement eingegeben.

2.2.5 Zusammenfassende Übersicht über die Funktion der Parameter

DA(Z)	Tonlänge des Tones Z
TE	Tempofaktor
W(Z)	Grundfrequenz des Tones Z
V(Z)	Grundfrequenz der zweiten Stimme = W(Z) bei einer einstimmigen Melodie
A(1)	Tastverhältnis
A(2)	relative Frequenz der 2. Schwingung

A(3) Schwebungsinkrement für die 2. Schwingung
A(4) Parameter für die Amplitude der 2. Schwingung
A(5) relative Frequenz der 3. Schwingung
A(6) Schwebungsinkrement für die 3. Schwingung
A(7) Parameter für die Amplitude der 3. Schwingung

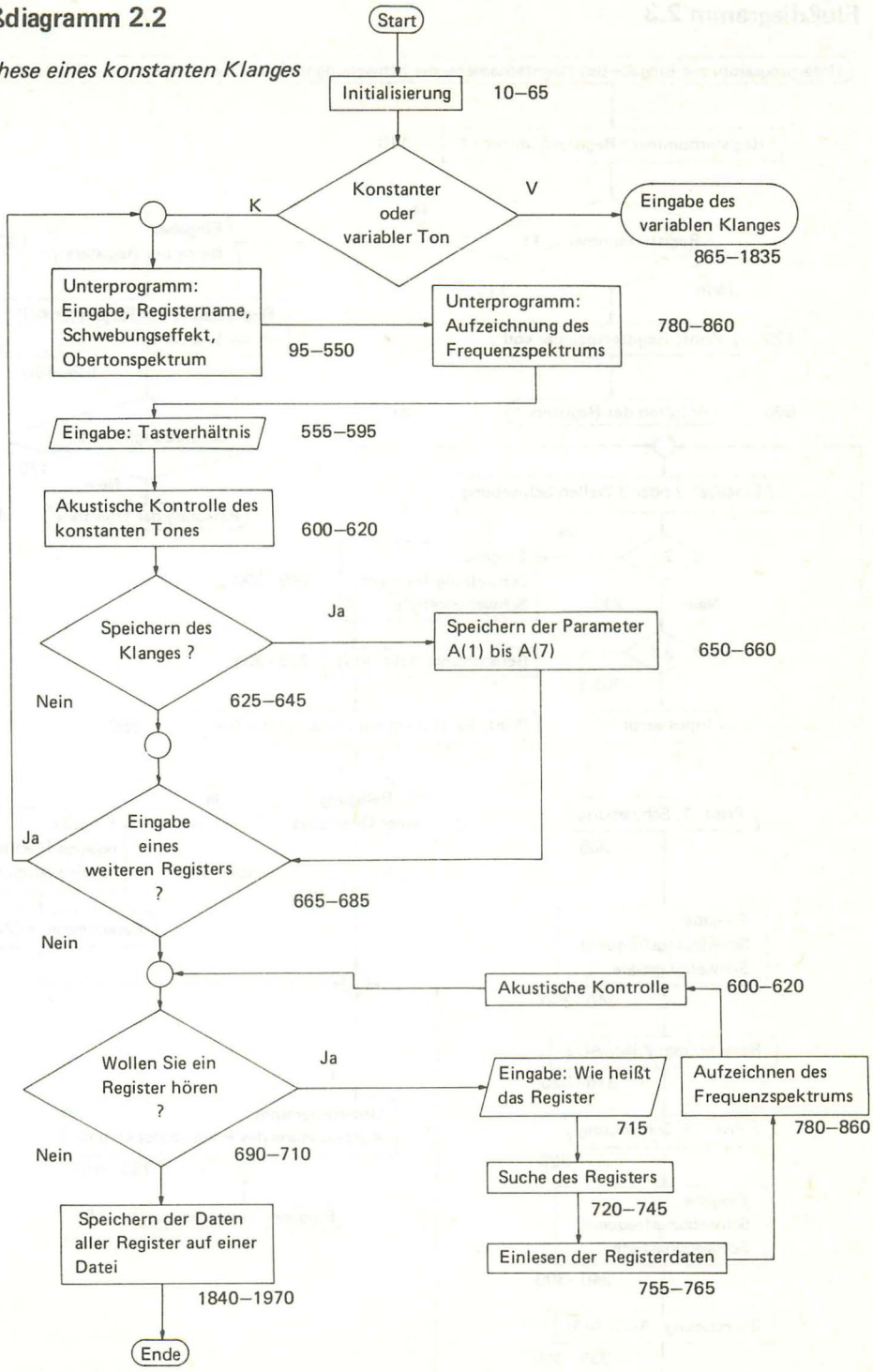
2.2.6 Programmbeschreibung

Wesentlich informativer als viele Worte sind Programmablaufpläne. Daher soll auch dieses Programm zur Konstruktion eines konstanten Klanges mit Hilfe der **Flußdiagramme 2.2 bis 2.6** auf den nachfolgenden Seiten erklärt werden. Neben den jeweiligen Sinnbildern stehen die Zeilennummern des Programmabschnittes, in dem die Operationen durchgeführt werden und wo man die konkreten Details der praktischen Programmrealisierung nachlesen kann. Hier sollen nur einige Informationen zur Bemessung der Eingabewerte gegeben werden.

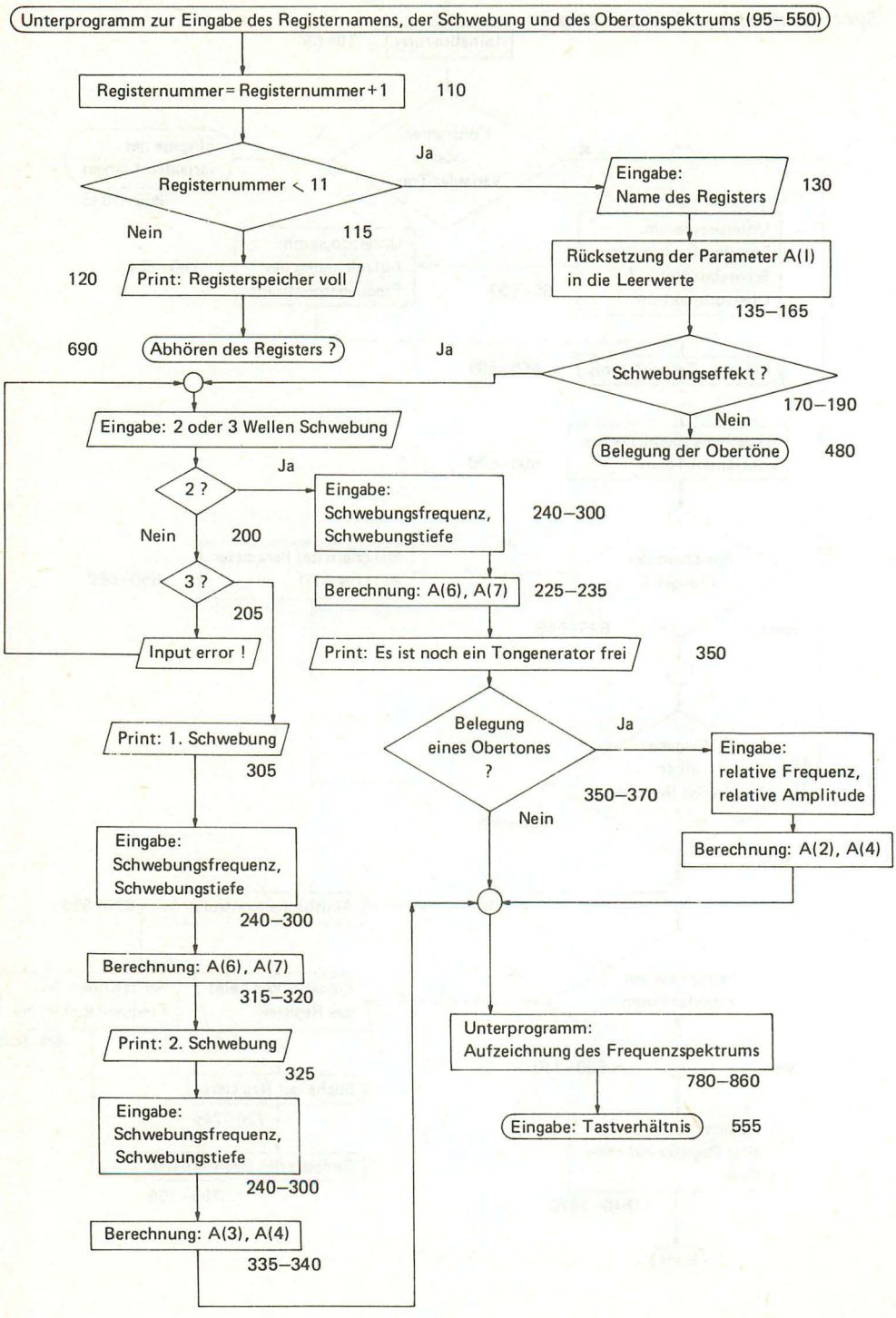
1. *Bei der Eingabe des Registernamens* kann man jeden beliebigen Stringvariablennamen verwenden. Es empfiehlt sich jedoch, Phantasienamen zu verwenden, die eine Assoziation zum Klang des Registers haben z.B.: Schwebesound, Rechteck etc.. Man muß sich dabei merken, ob man den Registernamen groß- oder kleingeschrieben eingegeben hat, da dies für die Wiederfindung des Registers wichtig ist.
2. *Bei der Eingabe der Schwebungsfrequenz* werden Werte zwischen 0,5 Hz und 20 Hz akzeptiert (Eingabe der Zahlenwerte ohne die Einheit Hz). Werden größere oder kleinere Werte eingegeben, so wird dies angezeigt, und die Eingabeaufforderung wird wiederholt. Um einen musikalisch angenehmen Effekt zu erzielen, empfiehlt es sich, Werte zwischen 1 und 7 einzugeben.
3. *Schwebungstiefe.* Es werden Werte zwischen 6,7 und 100 % der Amplitude akzeptiert.
4. *Relative Frequenz eines Obertones.* Es werden Werte, die größer als 1 und kleiner als 20 sind, sowie 0 angenommen. Die Eingabe von Null hat zur Folge, daß ein freier Oberton (-generator) nicht belegt wird. Um einen harmonischen Klang zu erzielen, sollte man einen ganzzahligen Wert oder einen ganzzahligen Wert gebrochen durch 2^n eingeben. Andere Werte führen zu dissonanten Klängen, die jedoch (bei geringer Dosierung) auch ihren Reiz haben können.
5. *Relative Amplitude.* Angenommen werden Werte zwischen 6,7 und 200 % der Grundamplitude. Da der Tongenerator des Computers die Lautstärke nur in 30 Stufen einstellen kann, wird die Amplitude auf die naheliegendste Stufe gerundet.
6. *Tastverhältnis.* Es werden Werte zwischen 5 und 100 % angenommen. Im Bereich zwischen 80 und 100 % wird das Tastverhältnis gleich 1 (100%) gesetzt, da aus Gründen der begrenzten Arbeitsgeschwindigkeit des Computers diese Werte beim Abspielen der Melodie nicht eingehalten werden könnten.

Flußdiagramm 2.2

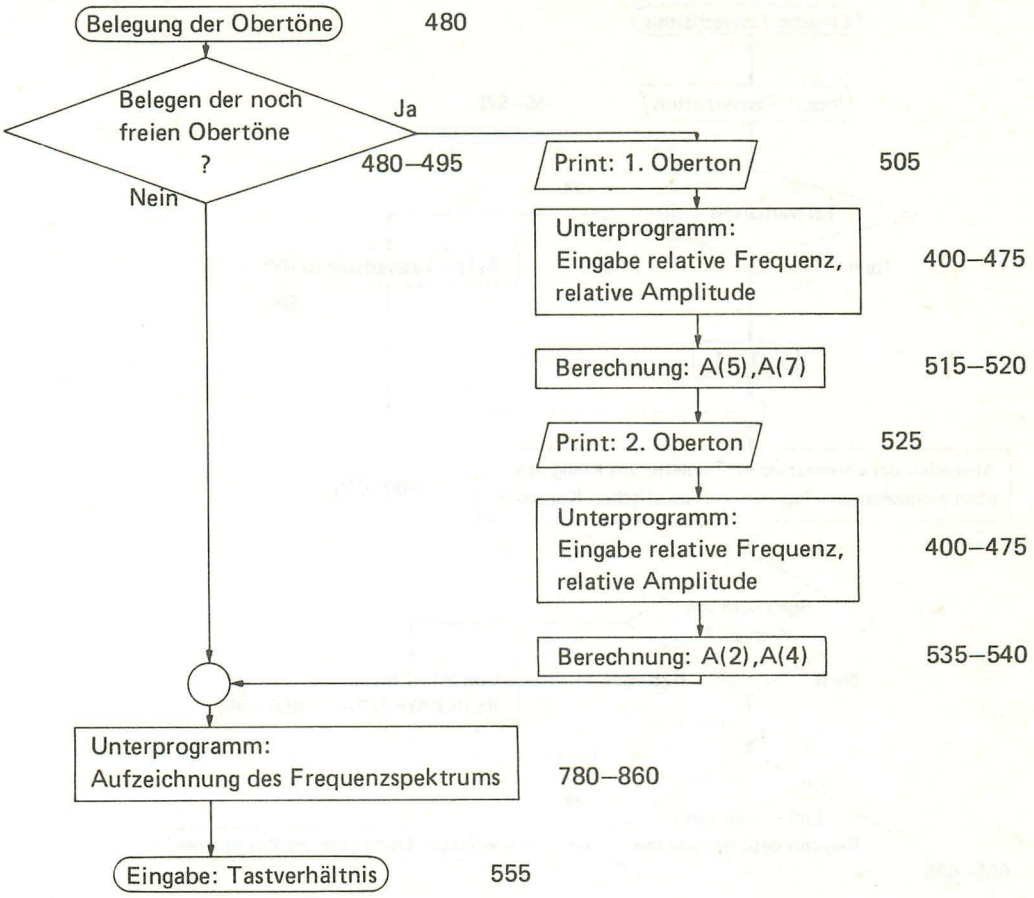
Synthese eines konstanten Klanges



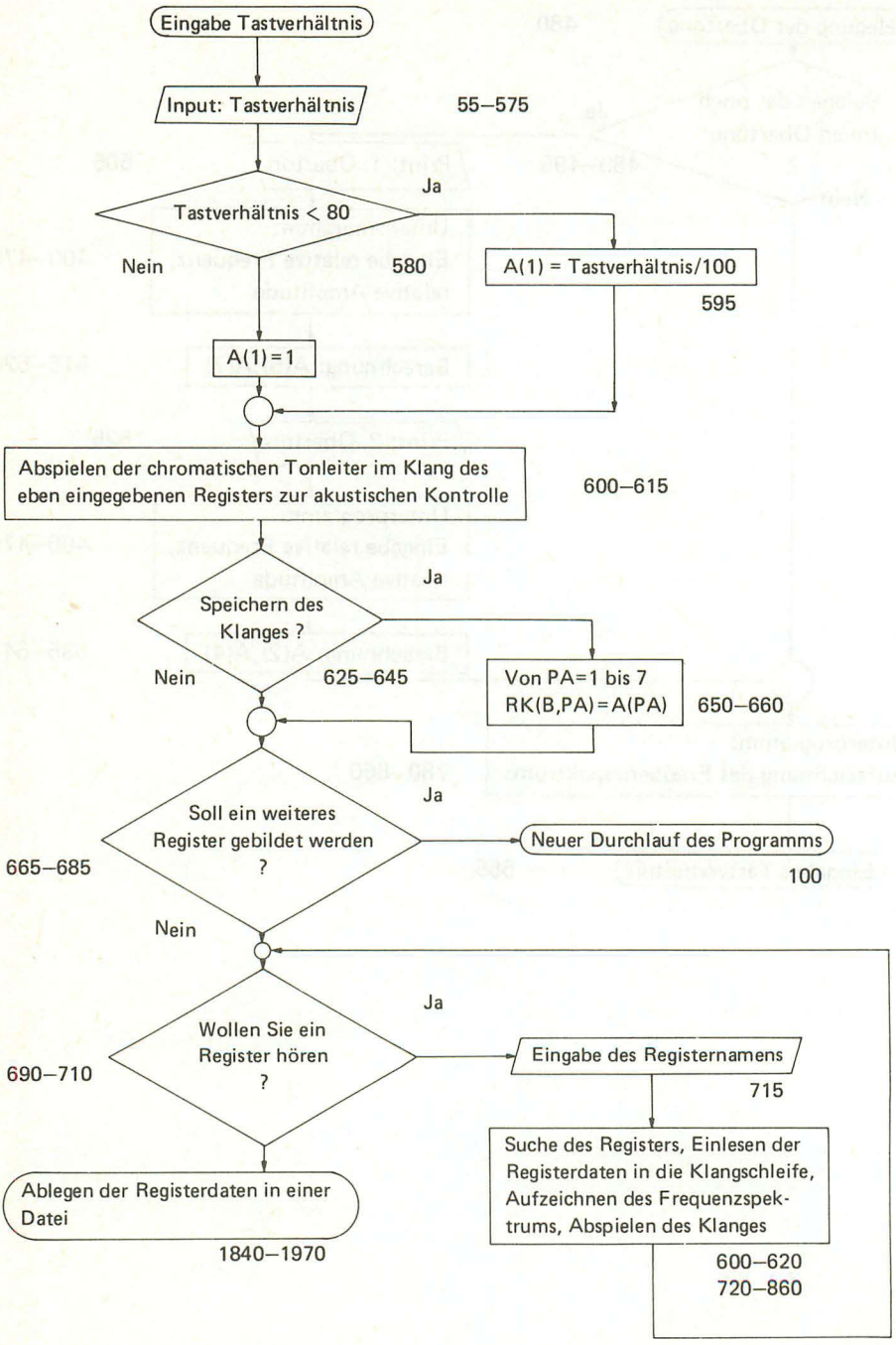
Flußdiagramm 2.3



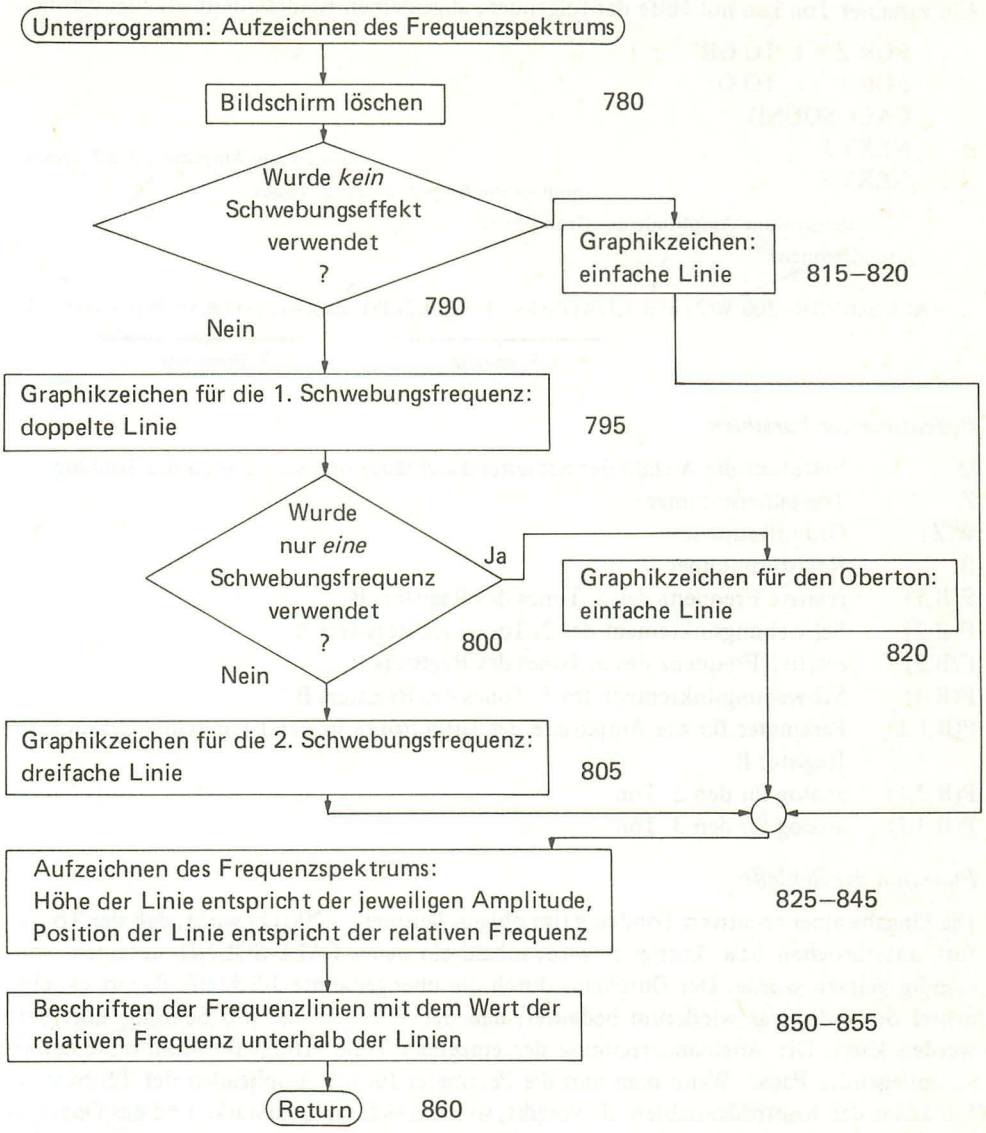
Flußdiagramm 2.4



Flußdiagramm 2.5



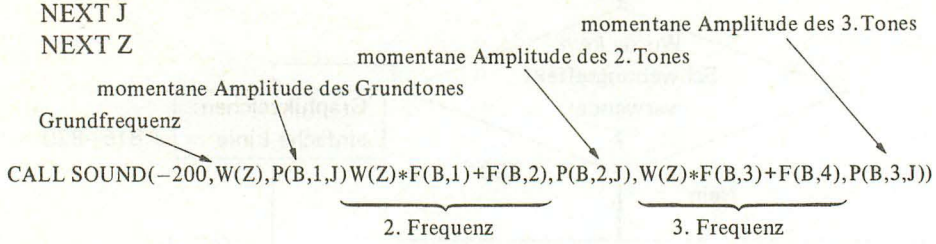
Flußdiagramm 2.6



2.3 Variable Töne

Ein variabler Ton kan mit Hilfe der folgenden, allgemeinen Klangschleife erzeugt werden:

```
FOR Z = 1  TO GR
FOR J = 1  TO O
CALL SOUND
NEXT J
NEXT Z
```



Bedeutung der Variablen

O	bestimmt die Anzahl der Schleifendurchläufe und somit auch die Tonlänge
Z	Tonzählernummer
W(Z)	Grundfrequenz
B	Registernummer
F(B,1)	relative Frequenz des 2. Tones des Registers B
F(B,2)	Schwebungsinkrement des 2. Tones des Registers B
F/B,3)	relative Frequenz des 3. Tones des Registers B
F(B,4)	Schwebungsinkrement des 3. Tones des Registers B
P(B,1,J)	Parameter für die Amplitude des Grundtones in der J-ten achtel Sekunde im Register B
P(B,2,J)	analog für den 2. Ton
P(B,3,J)	analog für den 3. Ton

Funktion der Schleife

Die Eingabe einer negativen Tondauer (im obigen Beispiel −200) bewirkt, daß der Ton sofort unterbrochen bzw. korrigiert wird, sobald ein neues CALL-SOUND-Statement vollständig gelesen wurde. Der Durchlauf durch die obengenannte J-Schleife dauert ca. eine achtel Sekunde, was wiederum bedeutet, daß der Ton achtmal pro Sekunde korrigiert werden kann. Die Aneinanderreihung der einzelnen Töne erfolgt fließend, ohne dazwischenliegender Pause. Wenn man nun die Parameter für die Amplituden der Teiltöne als Funktion der Kontrollvariablen J vorgibt, so kann sich die Lautstärke und das Oberwellenspektrum während des Abspielens des Tones ändern, was zum gewünschten variablen Klang führt.

2.3.1 Hüllkurve

Als Hüllkurve bezeichnet man den Amplitudenverlauf eines Tones. Sie hat einen ganz wesentlichen Einfluß auf den Klangcharakter. So haben z.B. Klavier und Geige ein recht ähnliches Obertonspektrum (beide Klänge werden in der Synthesizertechnik mit Hilfe von Sägezahnschwingungen nachgeahmt). Der charakteristische Klangunterschied entsteht pri-

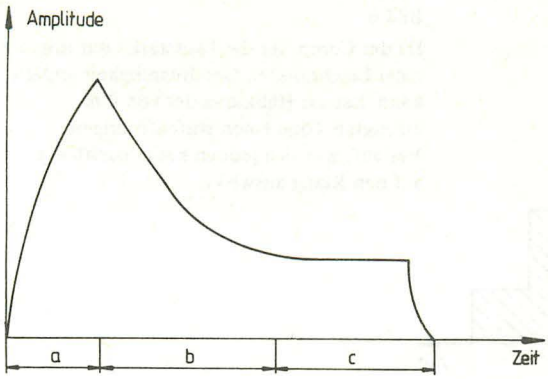


Bild 5
Die Hüllkurve eines variablen Tones läßt sich in drei Abschnitte (Contracussion-, Percussion- und Sustainphase) unterteilen, deren Längen einen starken Einfluß auf den Klangcharakter haben.

a) Contracussionsphase
b) Percussionsphase
c) Sustainphase

mär durch die unterschiedliche Hüllkurve. Während die Lautstärke der Geige während des gesamten Tones mehr oder weniger konstant ist, setzt die Amplitude des Klaviers schlagartig ein und klingt dann relativ rasch wieder ab.

In der Synthesizertechnik ist es üblich, für variable Töne Standardhüllkurven zu verwenden, die qualitativ die in **Bild 5** gezeichnete Form besitzen. Man unterscheidet dabei drei Abschnitte:

1. *In der Einschwing- oder Contracussionsphase* steigt die Amplitude im allgemeinem rasch von 0 auf den maximalen Wert an. Die Dauer dieser Contracussionsphase prägt die Härte des Toneinsatzes. Töne mit kurzen Einschwingzeiten klingen hart angeschlagen, während Töne mit langen Contracussionsphasen weich anschwellen.
2. *Dämpfungs- oder Percussionsphase.* Nach dem Anschlagen eines variablen Tones klingt dieser mehr oder weniger schnell wieder ab. Die Steilheit dieser Dämpfung hat ebenfalls einen starken Einfluß auf den Klangcharakter. Rasch abschwellende Töne (Klavier) klingen klar und prägnant. Langsam ausklingende Töne (Harfe) sind hingegen weich und harmonisch.
3. *Die Halte- oder Sustainphase* ist bei natürlichen Tönen nicht vorhanden. Es hat sich jedoch beim Spielen mit Synthesizern bewährt, den Ton nicht ganz abklingen zu lassen, sondern auf einem bestimmten Pegel eine gewisse Zeit noch zu halten.

Realisierung mit dem Computer

Bei Synthesizern wird der Hüllkurvenverlauf eines Tones einfach dadurch erzeugt, daß man das Tonsignal mit einer Spannung, die der Hüllkurve entspricht, moduliert. Dadurch wird die Lautstärke kontinuierlich verändert. Der Tongenerator des Computers erlaubt zum einen nur eine Einstellung der Amplitude in 30 Stufen und zum anderen nur alle achtel Sekunde eine Änderung des Amplitudenwertes. Dies hat zur Folge, daß die Hüllkurve einen stufenförmigen Verlauf nehmen muß (**Bild 6**). Erfreulicherweise kann man feststellen, daß das Ohr so träge ist, daß es diese Stufen im allgemeinen kaum wahrnimmt, so daß man mit den in den Bildern 6 und 7 gezeichneten Hüllkurven einen guten musikalischen Effekt erzielt.

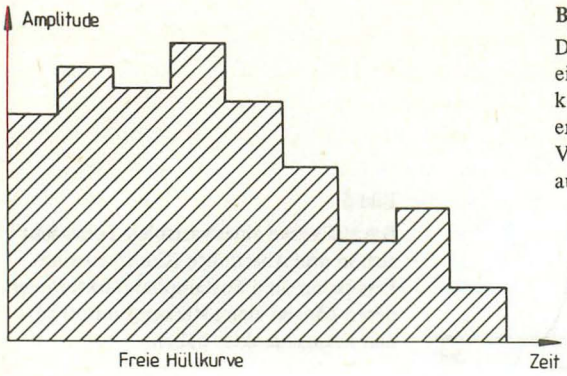


Bild 6
Da der Computer die Lautstärke nur mit einer beschränkten Geschwindigkeit ändern kann, hat die Hüllkurve der von ihm erzeugten Töne einen stufenförmigen Verlauf, was sich jedoch kaum nachteilig auf den Klang auswirkt.

Eingabe der Hüllkurve

Das Programm sieht zwei Methoden zur Hüllkurveneingabe vor.

1. Bei der freien Hüllkurveneingabe gibt man für jede achtel Sekunde einen Amplitudenwert ein (Angaben in % der maximalen Amplitude). Die eingegebenen Werte werden dann in die Parameter P(B, X, J) umgerechnet, die im CALL-SOUND-Statement die Amplituden der Teiltöne in der jeweils J/8-tel Sekunde bestimmen. Man kann auf diese Weise (im Rahmen der möglichen Auflösung) jede beliebige Hüllkurvenform in max. 10 Stufen eingeben.
2. Bei der Standardhüllkurveneingabe (**Bild 7**) lehnt man sich an den Sprachgebrauch der Synthesizertechnik an und gibt lediglich die Werte für die Contracussion, Percussionszeit, Sustainamplitude und Sustainlänge ein. Der Computer berechnet dann daraus den konkreten Hüllkurvenverlauf. Dies vereinfacht und beschleunigt die Hüllkurvenprogrammierung ganz erheblich. (Die praktische Durchführung dieser Operationen entnehme man den Programmablaufplänen und der Programmauflistung am Ende dieses Kapitels.)

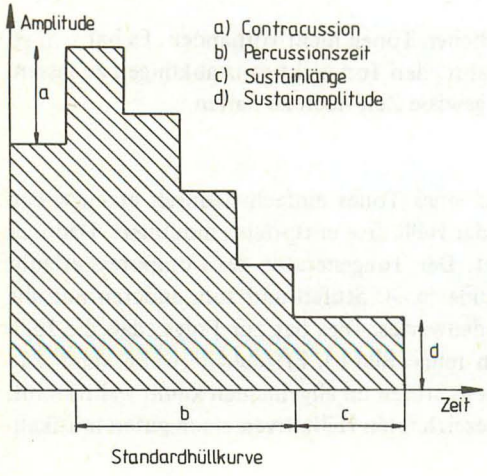


Bild 7
Standardhüllkurve

2.3.2 Tremolo

Als Tremolo bezeichnet man ein Amplitudenvibrato, d.h. eine periodische Schwankung der Lautstärke. Bei Synthesizern erzielt man diesen Effekt dadurch, daß man das Tonsignal mit einer langsamen (3–10 Hz) Schwingung moduliert. Beim Computer läßt sich dieser Effekt leicht dadurch erreichen, daß man die Hüllkurve bei jeder Stufe abwechselnd mit einem Faktor, der etwas größer bzw. etwas kleiner als 1 ist, multipliziert. Die Größe dieses Faktors bestimmt dabei die Tiefe der Tremolomodulation. Wenn man nicht jede Stufe, sondern nur jede zweite Stufe der Hüllkurve verändert (**Bild 8**), erhält man ein langsames Tremolo (2 Hz statt 4 Hz).

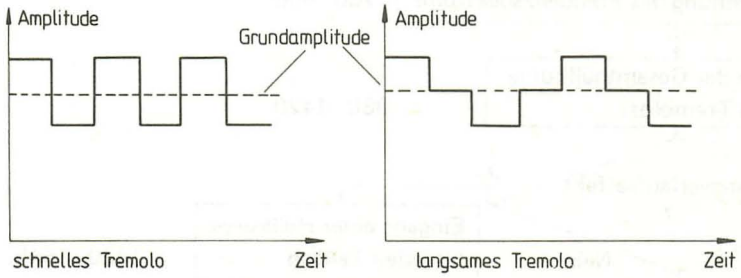


Bild 8
Tremolo

2.3.4 Klangverlauf

Die Amplituden der einzelnen Teiltöne sind voneinander unabhängig. Man kann daher auch für jeden der drei Töne eine eigene Hüllkurve eingeben, was zur Folge hat, daß sich im Verlauf des Tones das Verhältnis der Intensitäten der Teiltöne und somit auch die Klangfarbe ändert. Ordnet man z.B. dem Grundton eine Hüllkurve mit großer Contracussion und hoher Sustainamplitude zu und gibt dafür den Obertönen eine Hüllkurve mit geringer Contracussion und niedriger Sustainamplitude, so setzt der Ton hell ein und klingt dumpf aus. Gibt man dem Grundton kein, dem 2.Ton ein schnelles und dem 3.Ton ein langsames Tremolo, so kommt es zu einer Klangfarbenvibrato usw.

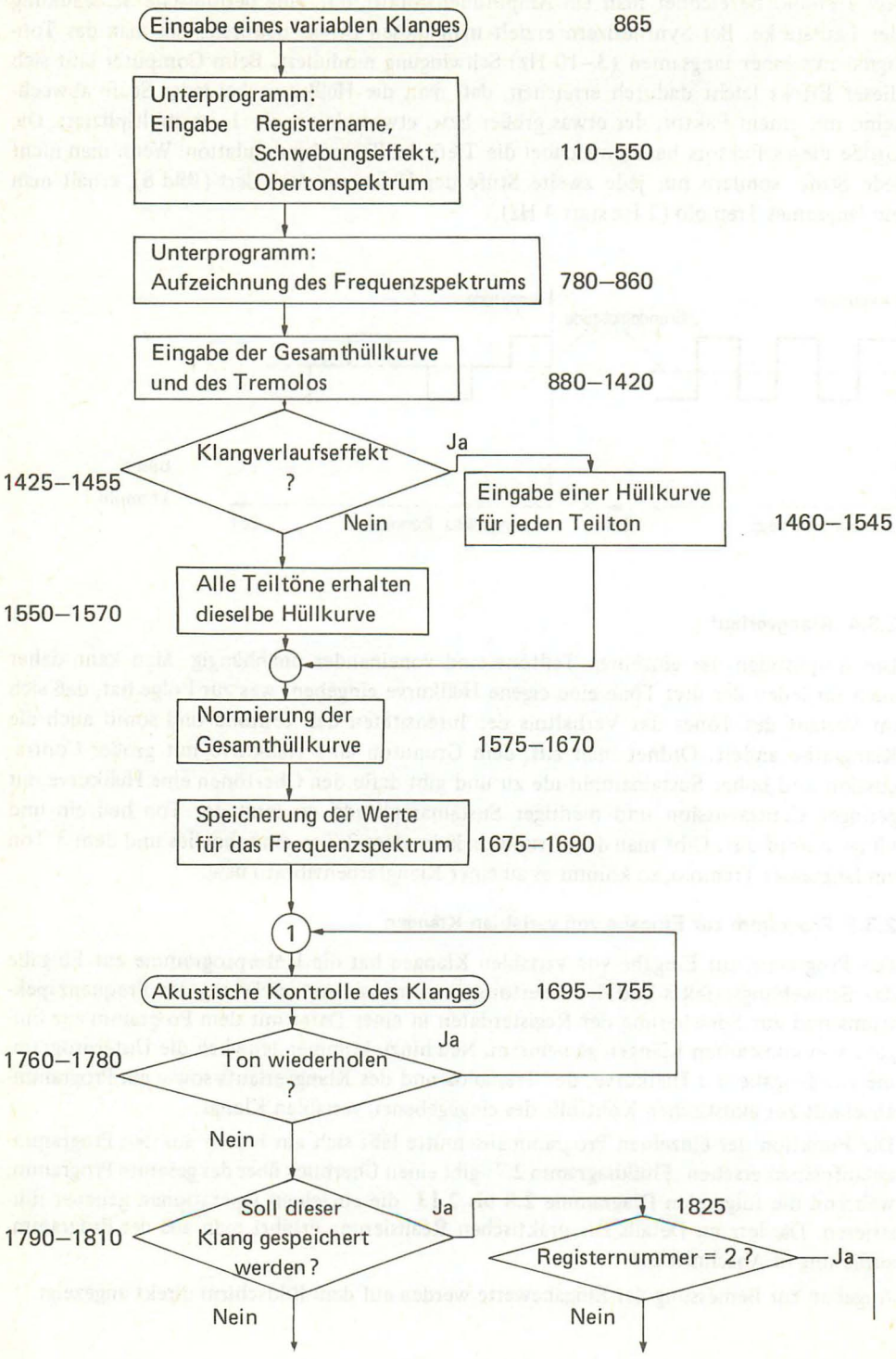
2.3.5 Programm zur Eingabe von variablen Klängen

Das Programm zur Eingabe von variablen Klängen hat die Unterprogramme zur Eingabe des Schwebungseffekts und des Obertonspektrums zur Aufzeichnung des Frequenzspektrums und zur Speicherung der Registerdaten in einer Datei mit dem Programm zur Eingabe von konstanten Klängen gemeinsam. Neu hinzu kommen lediglich die Unterprogramme zur Eingabe der Hüllkurve, des Tremolos und des Klangverlaufs sowie ein Programmabschnitt zur akustischen Kontrolle des eingegebenen variablen Klangs.

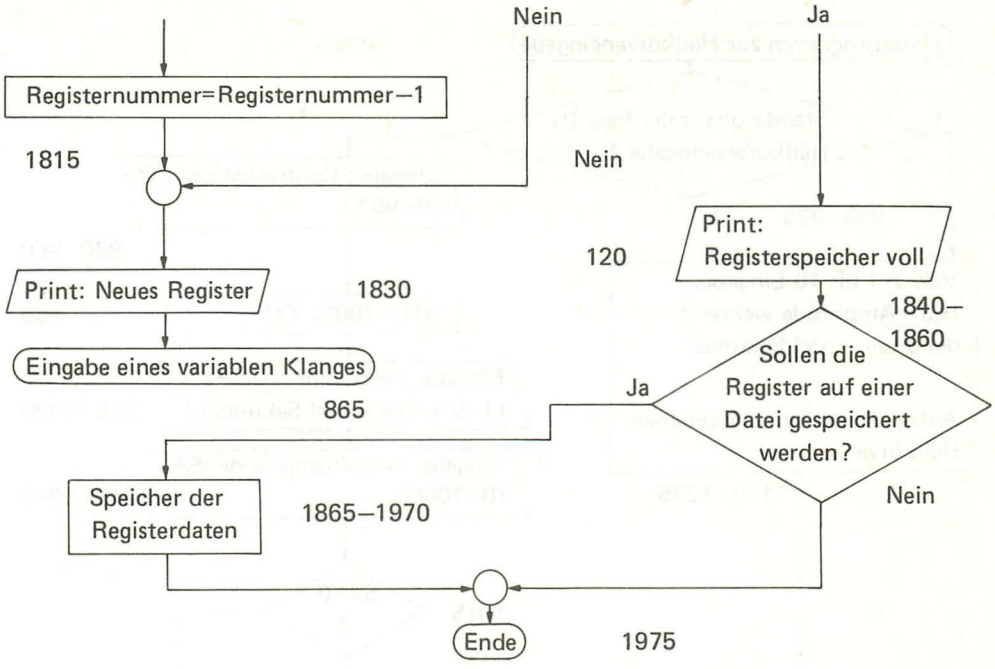
Die Funktion der einzelnen Programmabschnitte läßt sich am besten aus den Programmablaufplänen ersehen. **Flußdiagramm 2.7** gibt einen Überblick über das gesamte Programm, während die folgenden **Diagramme 2.8 bis 2.13** die einzelnen Operationen genauer illustrieren. Die letzten Details zur praktischen Realisierung erfährt man aus der Programmauflistung in Abschnitt 2.4

Angaben zur Bemessung der Eingabewerte werden auf dem Bildschirm direkt angezeigt.

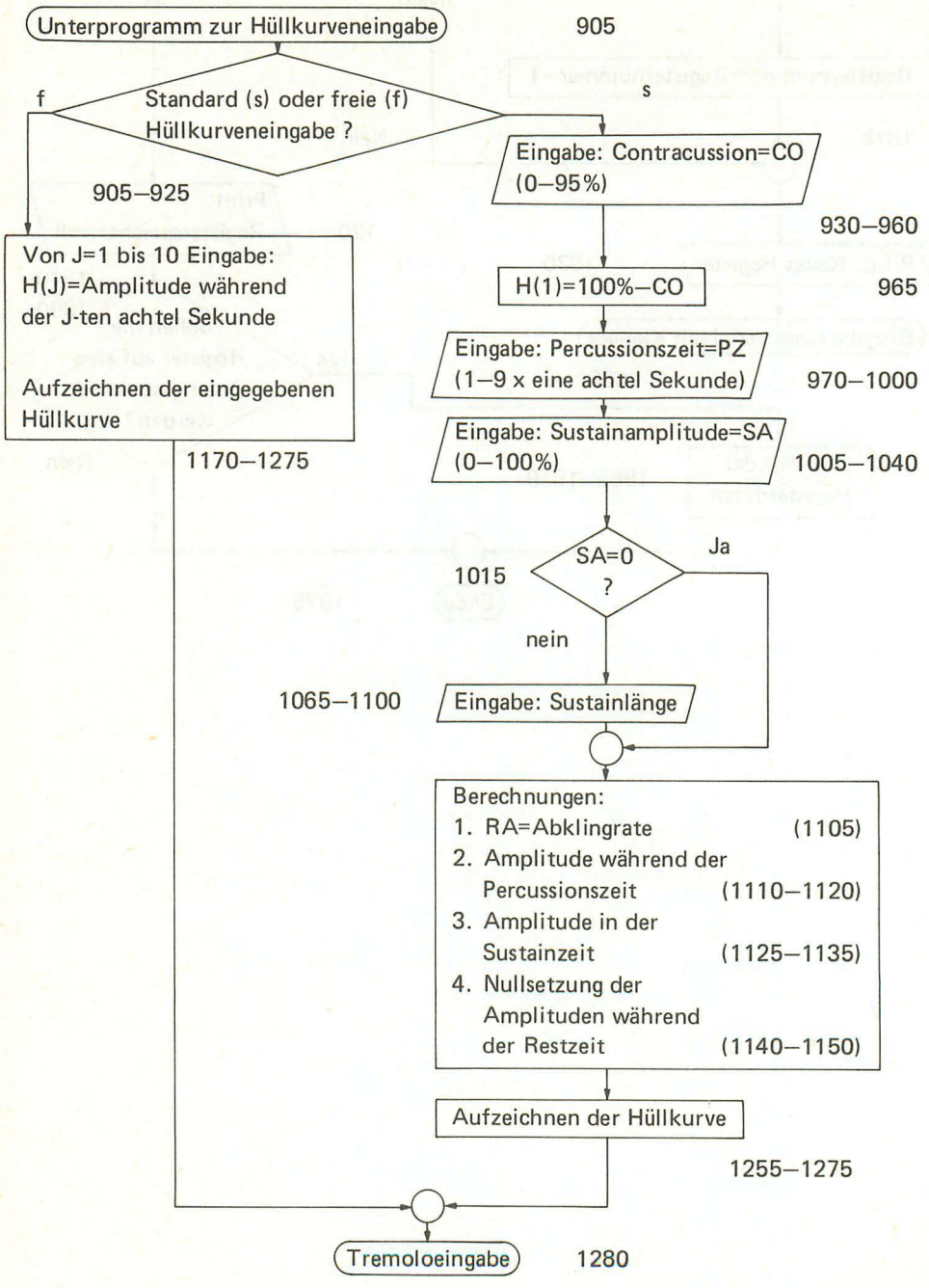
Flußdiagramm 2.7



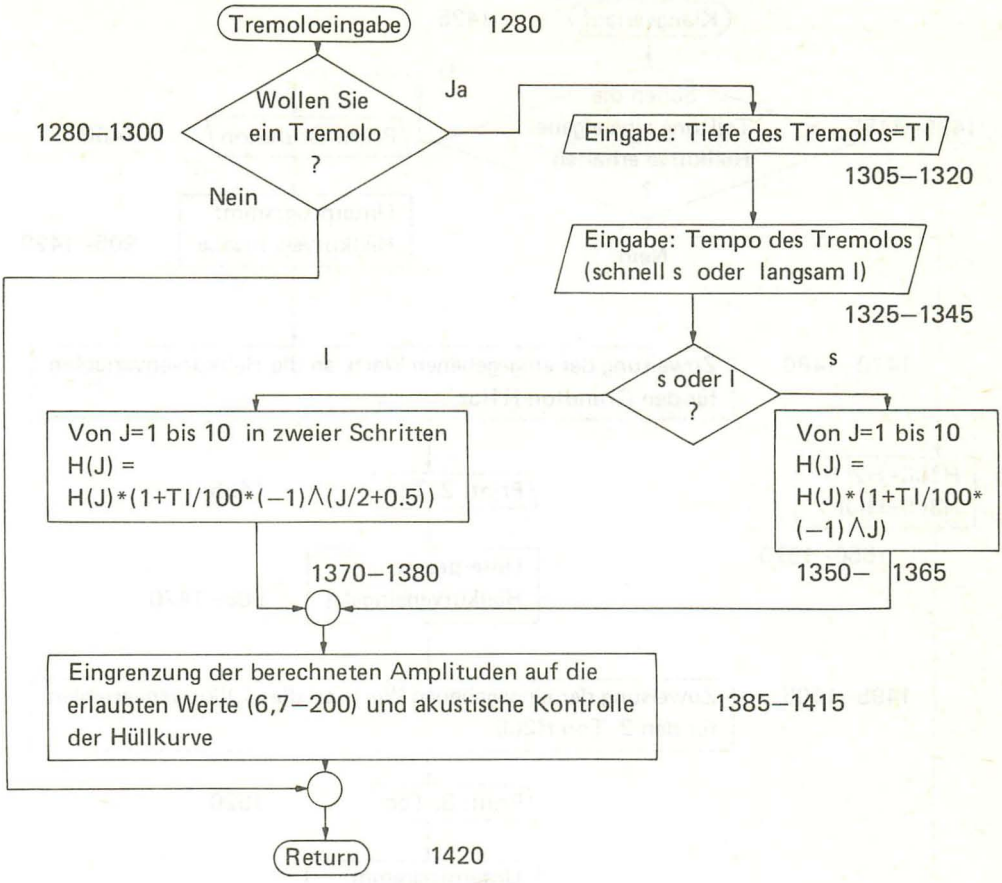
Fortsetzung Flußdiagramm 2.7



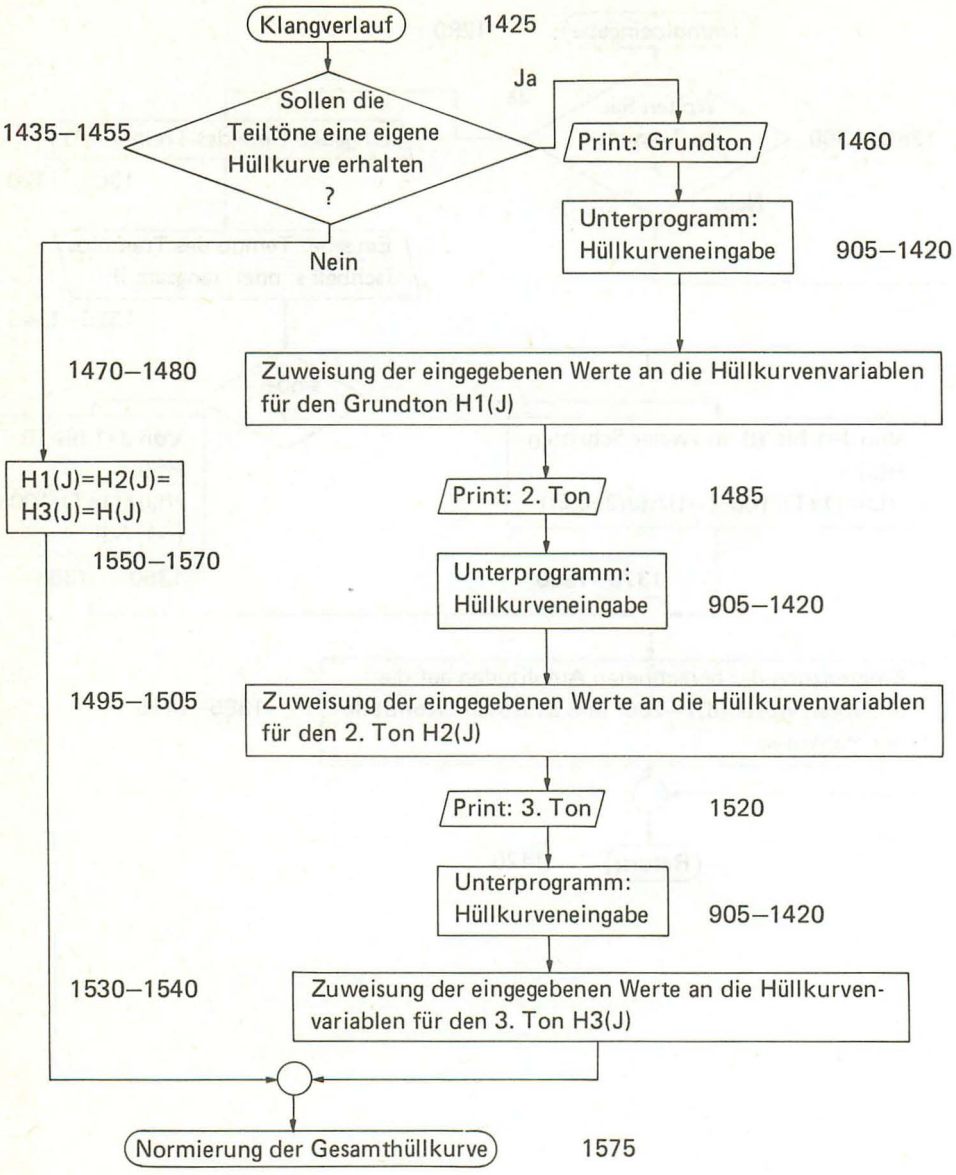
Flußdiagramm 2.8



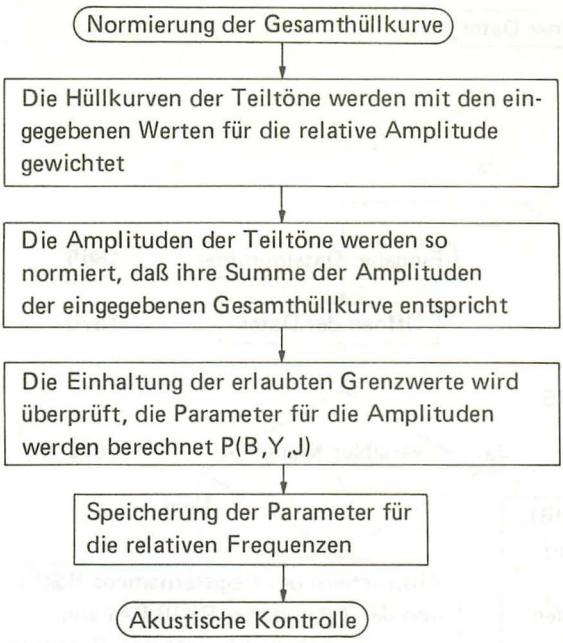
Flußdiagramm 2.9



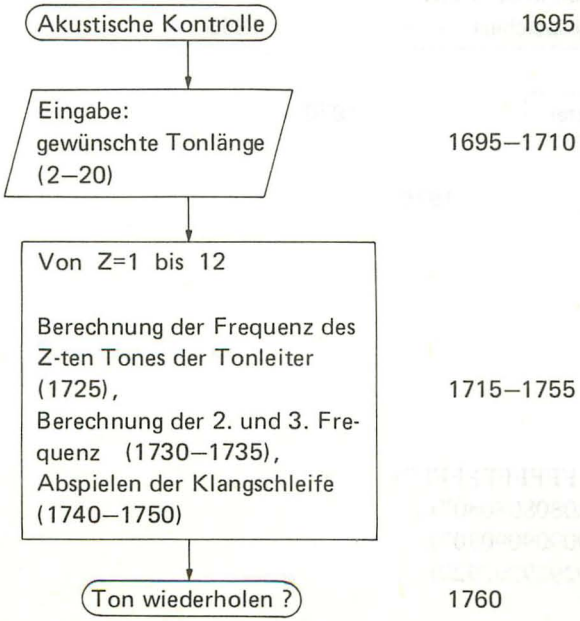
Flußdiagramm 2.10



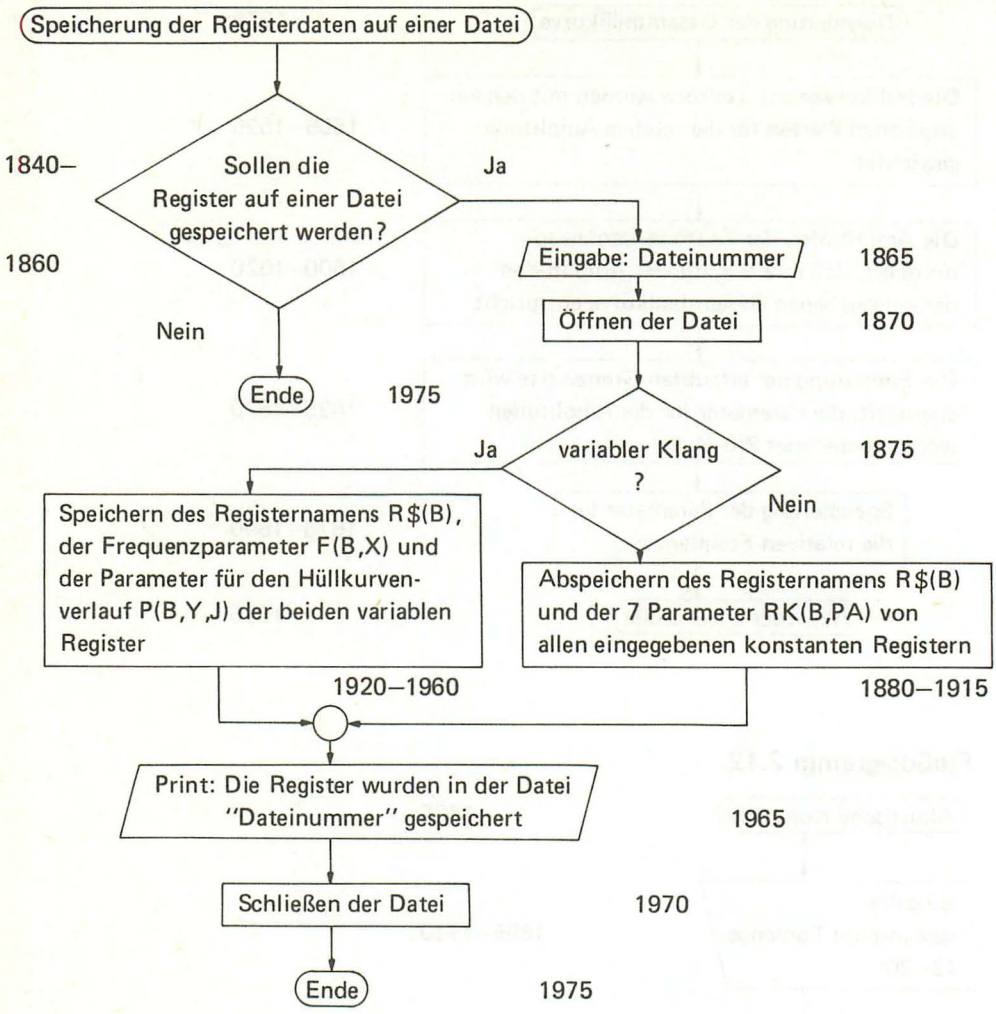
Flußdiagramm 2.11



Flußdiagramm 2.12



Flußdiagramm 2.13



2.4 Programmauflistung

```
10   CALL CLEAR
15   CALL CHAR(140,"FFFFFFFFFFFFFFFF")
20   CALL CHAR(150,"8080808080808080")
25   CALL CHAR(151,"9090909090909090")
30   CALL CHAR(152,"9292929292929292")
35   DIM R$(10)
```

```
 40  DIM W(12)
 45  DIM L(12)
 50  DIM M(12)
 55  PRINT "Klangsyntheseprogramm":::::
 60  I$="Input error ! "
 65  J$=" J oder N "
 70  INPUT "Konstanter (K) oder variabler (V) Ton ?": RT$
 75  IF RT$="k" THEN 95
 80  IF RT$="v" THEN 870
 85  PRINT I$&" k oder v "::
 90  GO TO 70
 95  DIM RK(10,7)
100  GOSUB 110
105  GO TO 555
110  B=B+1
115  IF B <11 THEN 130
120  PRINT "Registerspeicher voll":::
125  GO TO 690
130  INPUT "Welchen Namen wollen Sie dem Register geben ?": R$(B)
135  A(1)=1
140  A(2)=1
145  A(5)=1
150  A(4)=30
155  A(7)=30
160  A(3)=0
165  A(6)=0
170  INPUT "Schwebungseffekt ?": SW $
175  IF SW$="J" THEN 195
180  IF SW$="N" THEN 480
185  PRINT I$&J$
190  GO TO 170
195  INPUT "Schwebung mit 2 oder 3 Wellen ?": ZW
200  IF ZW=2 THEN 220
205  IF ZW=3 THEN 305
210  PRINT I$&"2 oder 3"::
215  GO TO 195
220  GOSUB 245
225  A(6)=2*SF
230  A(7)=200/ST
235  GO TO 350
240  PRINT I$&"Zu klein"::
245  INPUT "Schwebungsfrequenz =":SF
250  IF SF<0.5 THEN 240
255  IF SF<20 THEN 275
260  PRINT I$&"Zu groß"::
```

```
265   GO TO 245
270   PRINT "Zu gering"::
275   INPUT "Schwebungstiefe =":ST
280   IF ST<20/3  THEN 270
285   IF ST<=100  THEN 300
290   PRINT I$&"Zu groß"::
295   GO TO 275
300   RETURN
305   PRINT "1.Schwebung :"::
310   GOSUB 245
315   A(6)=2*SF
320   A(7)=200/ST
325   PRINT "2. Schwebung :"::
330   GOSUB 245
335   A(3)=2*SF
340   A(4)=200/ST
345   GO TO 545
350   INPUT "Es ist noch ein Oberton frei.Wollen Sie ihn belegen?":OB$
355   IF OB$="J" THEN 375
360   IF OB$="N" THEN 545
365   PRINT I$&J$::
370   GO TO 350
375   GOSUB 400
380   A(2)=RF
385   A(4)=200/RA
390   GO TO 545
395   PRINT I$ &"Zu klein"
400   INPUT "Relative Frequenz =":RF
405   IF RE<>O THEN 425
410   RA=20/3
415   RF=1
420   RETURN
425   IF RF<1 THEN 395
430   IF RF<20 THEN 450
435   PRINT I$&"Zu groß"::
440   GO TO 400
445   PRINT I$&"Zu klein"::
450   INPUT "Relative Amplitude =
            (in % der Grundschwingung)":RA
455   IF RA<20/3 THEN 445
460   IF RA<=200 THEN 475
465   PRINT I$&"Zu groß"::
470   GO TO 450
475   RETURN
```

```
480  INPUT "Es sind noch zwei Obertöne frei.
          Wollen Sie sie belegen ?":OZ$
485  IF OZ$="J" THEN 505
490  IF OZ$="N" THEN 545
495  PRINT I$&J$::
500  GO TO 480
505  PRINT "1.Oberton ="::
510  GOSUB 400
515  A(5)=RF
520  A(7)=200/RA
525  PRINT "2.Oberton:"::
530  GOSUB 400
535  A(2)=RF
540  A(4)=200/RA
545  GOSUB 780
550  RETURN
555  INPUT "Tastverhältnis=
          (Angaben in %)":TA
560  IF TA<5 THEN 570
565  IF TA<=100 THEN 580
570  PRINT I$::::
575  GO TO 555
580  IF TA<80 THEN 595
585  A(1)=1
590  GO TO 600
595  A(1)=TA/100
600  FOR Z=1 TO 12
605  W(Z)=262*1.059^Z
610  CALL SOUND(A(1)*250,W(Z),2,W(Z)*A(2)+A(3),A(4),W(Z)*A(5)+A(6),A(7))
615  NEXT Z
620  IF HO$="J" THEN 690
625  INPUT "Speichern dieses Klanges ?":KS$
630  IF KS$="J" THEN 650
635  IF KS$="N" THEN 665
640  PRINT I$&J$::
645  GO TO 625
650  FOR PA=1 TO 7
655  RK(B,PA)=A(PA)
660  NEXT PA
665  INPUT "Wollen Sie ein weiteres Register bilden?":RB$
670  IF RB$="J" THEN 100
675  IF RB$="N" THEN 690
680  PRINT I$&J$::
685  GO TO 665
690  INPUT "Wollen Sie ein Register hoeren?":HO$
```

```
695  IF HO$="J" THEN 715
700  IF HO$="N" THEN 1840
705  PRINT I$&J$::
710  GO TO 690
715  INPUT "Wie heisst das Register ?":HR$
720  FOR B=1 TO 10
725  IF HR$=R$(B) THEN 745
730  NEXT B
735  PRINT I$&"Es ist kein Register mit diesem Namen gespeichert"::
740  GO TO 715
745  IF RT$="k" THEN 755
750  IF RT$="v" THEN 1695
755  FOR PA=1 TO 7
760  A(PA)=RK(B,PA)
765  NEXT PA
770  GOSUB 780
775  GO TO 600
780  CALL CLEAR
785  PRINT "Frequenzspektrum von"&R$(B)::::::::::::::
790  IF A(6)=0 THEN 815
795  E=151
800  IF A(3)=0 THEN 820
805  N=152
810  GO TO 825
815  E=150
820  N=150
825  CALL VCHAR(11,4,150,10)
830  IF A(5)>9 THEN 840
835  CALL VCHAR(21-INT(20/A(7)),3*A(5)+1,E,INT(20/A(7)))
840  IF A(2)>9 THEN 850
845  CALL VCHAR(21-INT(20/A(4)),3*A(2)+1,N,INT(20/A(4)))
850  PRINT TAB(3*A(2)-3);A(2);TAB(3*A(5)-3);A(5):::
855  CALL HCHAR(21,3,49)
860  RETURN
865  REM Eingabe eines variablen Klanges
870  DIM P(2,3,10)
875  GOSUB 110
880  GOSUB 905
885  FOR J=1 TO 10
890  HG(J)=H(J)
895  NEXT J
900  GO TO 1425
905  INPUT "Standard (S) oder freie (F) Huellkurveneingabe ?":HE$
910  IF HE$="S" THEN 930
915  IF HE$="F" THEN 1170
```

```
920  PRINT I$&" S oder F"::
925  GO TO 905
930  INPUT "Contracussion (0 bis 95%)":CO
935  IF CO>=0 THEN 950
940  PRINT I$::
945  TO TO 930
950  IF CO<=95 THEN 965
955  PRINT I$&"Zu gross"::
960  GO TO 930
965  H(1)=100-CO
970  INPUT "Percussionszeit (1-9 x eine achtel Sekunde)": PZ
975  IF PZ>=1 THEN 990
980  PRINT I$&"Zu kurz"::
985  GO TO 970
990  IF PZ<=9 THEN 1005
995  PRINT I$&"Zu lang"::
1000 GO TO 970
1005 INPUT "Sustain (% der maximalen Amplitude):":SA
1010 IF SA>0 THEN 1030
1015 IF SA=0 THEN 1105
1020 PRINT I$&"Zu gering"::
1025 GO TO 1005
1030 IF SA<=100 THEN 1045
1035 PRINT I$&"Zu gross"::
1040 GO TO 1005
1045 IF CO=0 THEN 1060
1050 UR=2
1055 GO TO 1065
1060 UR=1
1065 PRINT "Sustainlaenge (0 bis ";11-UR-PZ;" x einer achtel Sekunde":
1070 INPUT SL
1075 IF SL>=0 THEN 1090
1080 PRINT "I$&"Nicht negativ !"::
1085 GO TO 1065
1090 IF SL<=11-UE-PZ THEN 1105
1095 PRINT I$&"Zu lang"::
1100 GO TO 1065
1105 RA=(100-SA)/PZ
1110 FOR J=UR TO UR+PZ-1
1115 H(J)=100-RA*(J-UR)
1120 NEXT J
1125 FOR J=UR+PZ TO UR+PZ+SL-1
1130 H(J)=SA
1135 NEXT J
1140 FOR J=UR+PZ+SL TO 10
```

```
1145  H(J)=0
1150  NEXT J
1155  J=10
1160  GOSUB 1255
1165  GO TO 1280
1170  REM freie Huellkurve
1175  CALL CLEAR
1180  PRINT "Geben Sie die Huellkurve ein": "(Amplitude in % des Maximalwertes":::
1185  PRINT "6.7 bis 200%"::
1190  FOR J=1 TO 10
1195  GOSUB 1210
1200  NEXT J
1205  GO TO 1280
1210  PRINT "Amplitude der ";J;"-ten achtel Sekunde =" : :
1215  INPUT H(J)
1220  IF H(J) <=200 THEN 1235
1225  PRINT I$&"Zu gross"::
1230  GO TO 1210
1235  IF H(J) <>0 THEN 1255
1240  J=10
1245  PRINT "ENDE der Huellkurveneingabe":::
1250  CALL SOUND(250,440,2,444,2)
1255  CALL CLEAR
1260  FOR =1 TO
1265  CALL VCHAR(23-INT(H( )/5),4+ ,140,INT(H( )/5))
1270  NEXT
1275  RETURN
1280  INPUT "Wollen Sie ein Tremolo ?": TR$
1285  IF TR$="J" THEN 1305
1290  IF TR$="N" THEN 1385
1295  PRINT I$&J$::
1300  GO TO 1280
1305  INPUT "Tiefe des Tremolos : (% der Grundamplitude)": TI
1310  IF TI <=100 THEN 1325
1315  PRINT I$&"Zu gross"::
1320  GO TO 1305
1325  INPUT "Tempo des Tremolos : (schnell (s) oder langsam (l))": TT$
1330  IF TT$="s" THEN 1350
1335  IF TT$="l" THEN 1370
1340  PRINT I$&"s oder l"::
1345  GO TO 1325
1350  FOR J=1 TO 10
1355  H(J)=H(J)*(1+TI/100*(-1)^J)
1360  NEXT J
1365  GO TO 1385
```

```
1370  FOR J=1 TO 10 STEP 2
1375  H(J)=H(J)*(1+TI/100*(-1)^(J/2+0.5))
1380  NEXT J
1385  FOR J=1 TO 10
1390  IF H(J) <=200 THEN 1400
1395  H(J)=200
1400  IF H(J) >10/3 THEN 1410
1405  H(J)=10/3
1410  CALL SOUND(-200,440,100/H(J))
1415  NEXT J
1420  RETURN
1425  IF A(5) <>1 THEN 1435
1430  IF A(6)=0 THEN 1550
1435  INPUT "Sollen die Teiltoene eine eigene Huellkurve erhalten ?":EH$
1440  IF EH$="J" THEN 1460
1445  IF EH$="N" THEN 1550
1450  PRINT I$&J$::
1455  GO TO 1435
1460  PRINT "Grundton :":::
1465  GOSUB 905
1470  FOR J=1 TO 10
1475  H1(J)=H(J)
1480  NEXT J
1485  PRINT A(5);"-ter Oberton:":::
1490  GOSUB 905
1495  FOR J=1 TO 10
1500  H2(J)=H(J)
1505  NEXT J
1510  IF A(2) <>1 THEN 1520
1515  IF A(3)=0 THEN 1550
1520  PRINT A(2);"-ter Oberton :":::
1525  GOSUB 905
1530  FOR J=1 TO 10
1535  H3(J)=H(J)
1540  NEXT J
1545  GO TO 1580
1550  FOR J=1 TO 10
1555  H1(J)=H(J)
1560  H2(J)=H(J)
1565  H3(J)=H(J)
1570  NEXT J
1575  REM Normierung der Gesamthuellkurve
1580  FOR J=1 TO 10
1585  H1(J)=H1(J)*2
1590  H2(J)=H2(J)*2/A(7)
```

```
1595  H3(J)=H3(J)*2/A(7)
1600  SU=H1(J)+H2(J)+H3(J)
1605  FK=HG(J)/SU
1610  H1(J)=H1(J)*FK
1615  H2(J)=H2(J)*FK
1620  H3(J)=H3(J)*FK
1625  IF H1(J)>10/3 THEN 1635
1630  H1(J)=10/3
1635  P(B,1,J)=100/H1(J)
1640  H2(J)=10/3
1650  P(B,3,J)=100/H2(J)
1655  IF H3(J)>10/3 THEN 1665
1660  H3(J)=10/3
1665  P(B,2,J)=100/H3(J)
1670  NEXT j
1675  F(B,1)=A(2)
1680  F(B,2)=A(3)
1685  F(B,3)=A(5)
1690  F(B,4)=A(6)
1695  INPUT "Tondauer:": TD
1700  IF TD<=20 THEN 1715
1705  PRINT I$&"Zu lang"::
1710  GO TO 1695
1715  FOR Z=1 TO 12
1720  O=TD/2
1725  W(Z)=262*1.059^Z
1730  L(Z)=W(Z)*F(B,1)+F(B,2)
1735  M(Z)=W(Z)*F(B,3)+F(B,4)
1740  FOR J=1 TO 0
1745  CALL SOUND(-200,W(Z),P(B,1,J),L(Z),P(B,2,J),M(Z),P(B,3,J))
1750  NEXT J
1755  NEXT Z
1760  INPUT "Ton wiederholen ?": TW$
1765  IF TW$="J" THEN 1695
1770  IF TW$="N" THEN 1785
1775  PRINT I$& J$::
1780  GO TO 1760
1785  IF HO$="J" THEN 690
1790  INPUT "Soll dieser Klang gespeichert werden ?": KVS$
1795  IF KVS$="J" THEN 1820
1800  IF KVS$="N" THEN 1815
1805  PRINT I$& J$
1810  GO TO 1790
1815  B=B-1
1820  CALL CLEAR
```

```
1825  IF B=2 THEN 120
1830  PRINT "Neues Register :":::::
1835  GO TO 75
1840  INPUT "Sollen die Register auf einer Datei gespeichert werden ?": RD$
1845  IF RD$="J" THEN 1865
1850  IF RD$="N" THEN 1975
1855  PRINT I$& J$::
1860  GO TO 1840
1865  INPUT "Dateinummer =": DR
1870  OPEN #DR: "CS1",INTERNAL,OUTPUT,FIXED 192
1875  IF RT$="v" THEN 1920
1880  FOR B=1 TO 10
1885  PRINT #DR:R$(B) ,
1890  FOR PA=1 TO 6
1895  PRINT #DR:RK(B,PA) ,
1900  NEXT PA
1905  PRINT #DR:RK(B,7)
1910  NEXT B
1915  GO TO 1965
1920  FOR B=1 TO 2
1925  PRINT #DR:R$(B),F(B,1),F(B,2),F(B,3),F(B,4)
1930  FOR Y=1 TO 3
1935  FOR J=1 TO 9
1940  PRINT #DR:P(B,Y,J)
1945  NEXT J
1950  PRINT #DR:P(B,Y,10)
1955  NEXT Y
1960  NEXT B
1965  PRINT "Die Register wurden in der Datei ";DR; "gespeichert":::
1970  CLOSE #DR
1975  END
1980  IF RT$="K" THEN 1990
1985  GO TO 1995
1990  IF B < 10 THEN 100
1995  PRINT "Der Speicher ist voll":::::
2000  GO TO 1840
```

3 Melodieeingabeprogramm

Abstrakt gesehen ist eine Melodie eine Folge von Tönen und Pausen. Die Töne werden durch eine bestimmte Tonhöhe und Tonlänge charakterisiert, während die Pausen nur durch die Pausenlänge beschrieben werden müssen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, dem Computer die Informationen über den Melodieverlauf zuzuführen.

Methode A. Man kann die Noten direkt vom Notenblatt herunterlesen und den Ton, die Oktavlage und die Tondauer für jede einzelne Note über die Tastatur eintippen. Dieses Verfahren ist zwar mühsam und erfordert einen großen Schreibaufwand, führt dafür aber in der Regel zu einer tadellosen Tonsequenz, die nur noch selten (bei übersehenen Tippfehlern) korrigiert werden muß.

Methode B. Es gibt einen CALL-KEY-Befehl. Mit seiner Hilfe kann man die Tastatur des Computers in eine Art Klaviertastatur umfunktionieren. Wenn jemand auch nur geringfügige Klavier- oder Akkordeonspielkenntnisse besitzt, kann er auf diese Weise sehr schnell die Melodie eingeben. Es schadet dabei gar nicht, wenn man kein Virtuose ist. Man kann sich nach jedem Ton Zeit lassen, um zu überlegen, welche Taste als nächste gedrückt werden muß. Selbst wenn man einmal „danebengegriffen" hat, kann man diesen Fehler leicht und sofort korrigieren. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß man nach einigen Fehlgriffen und längeren Pausen leicht „den Faden verliert", so daß eine auf diesem Weg eingegebene Melodie im allgemeinen ausgiebig bearbeitet werden muß.

Methode C. Wenn man schon einmal ein Stück einer Melodie geschrieben und in einer Datei gespeichert hat, so kann man sie natürlich auch wieder aus dieser Datei einlesen, um sie zu ändern, zu erweitern oder abzuspielen.

Das in diesem Kapitel beschriebene Melodieeingabeprogramm muß drei Aufgaben erfüllen (siehe **Flußdiagramm 3.1**):

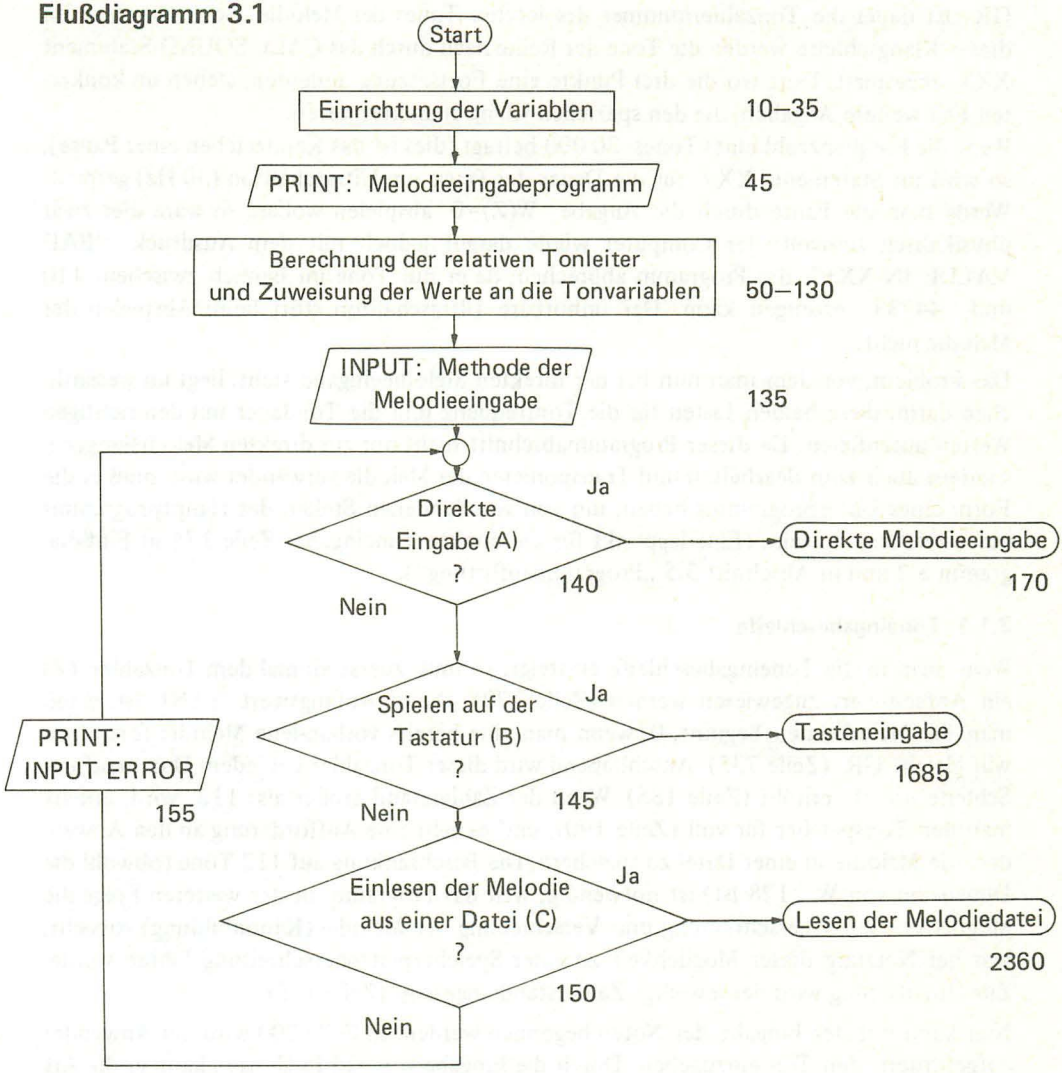
1. Es muß die Eingabe von Tonsequenzen auf den drei beschriebenen Wegen ermöglichen.
2. Die eingegebenen Tonsequenzen müssen akustisch überprüft werden können, wozu das Abspielen der Melodie nötig ist.
3. Nach der Eingabe der Melodie muß eine Korrektur der Fehler oder ein Einfügen von Ergänzungen möglich sein.

3.1 Direkte Melodieeingabe

(Programmzeilen 165–525)

Die Speicherung der Melodie erfolgt im Computer in der Art, daß die Frequenzen und Tonlängen der aufeinanderfolgenden Töne in jeweils einem eindimensionalen Feld (Liste) aufgereiht werden. Die Tonfrequenzen werden (im hier angeführten Beispiel) im Feld W(Z) und das Maß für die Tondauer im Feld DA(Z) abgespeichert. Der Index Z ist die Tonzählernummer.

Flußdiagramm 3.1



Will man die Melodie abspielen, so muß man nur zu einer Klangschleife springen, welche die folgende allgemeine Form besitzt:

```
XX1   FOR Z=1 TO GR
XX2   IF W(Z)=20000 THEN XX9
XX3   CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),...)
  .                .
  .                .
  .                .
XX7   NEXT Z
XX8   GO TO YYY
XX9   CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),9)
X10   GO TO XX7
```

GR ist dabei die Tonzählernummer des letzten Tones der Melodie. Beim Durchlaufen dieser Klangschleife werden die Töne der Reihe nach durch das CALL-SOUND-Statement XX3 abgespielt. Dort wo die drei Punkte eine Fortsetzung andeuten, stehen im konkreten Fall weitere Angaben, die den speziellen Klang charakterisieren.
Wenn die Frequenzzahl eines Tones 30 000 beträgt (dies ist das Kennzeichen einer Pause), so wird im Statement XX9 für die Dauer der Pause ein Ultraschallton (30 Hz) gespielt. Würde man die Pause durch die Angabe W(Z)=0 abspielen wollen, so wäre dies zwar physikalisch sinnvoll; der Computer würde darauf jedoch mit dem Ausdruck "BAD VALUE IN XX+" das Programm abbrechen, da er nur Töne im Bereich zwischen 110 und 44733 erzeugen kann. Der unhörbare Ultraschallton stört beim Abspielen der Melodie nicht.

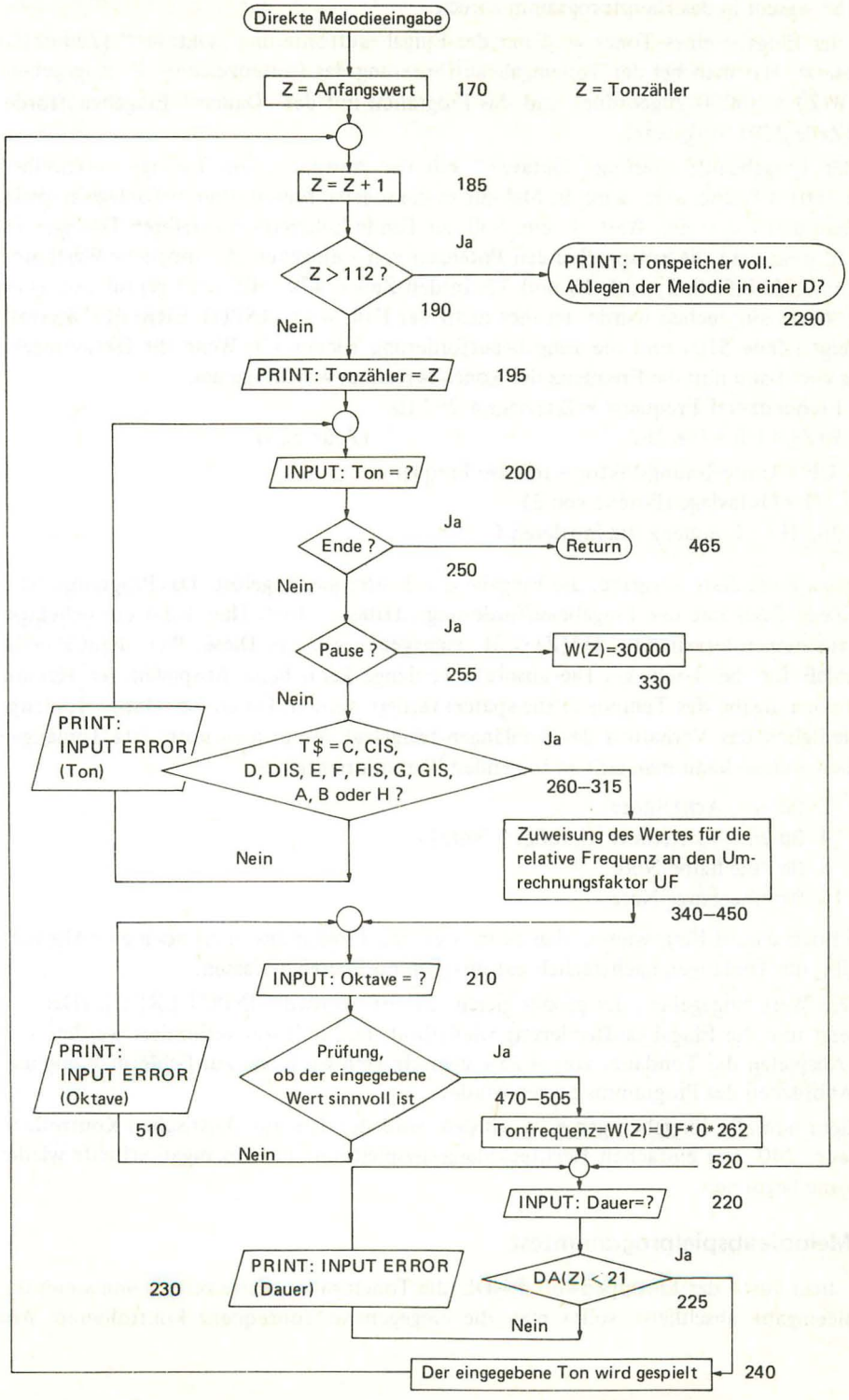
Das Problem, vor dem man nun bei der direkten Melodieeingabe steht, liegt im wesentlichen darin, diese beiden Listen für die Tonfrequenz und die Tondauer mit den richtigen Werten aufzufüllen. Da dieser Programmabschnitt nicht nur zur direkten Melodieeingabe, sondern auch zum Bearbeiten und Transponieren der Melodie verwendet wird, muß er die Form eines Unterprogramms haben, um von verschiedenen Stellen des Hauptprogramms aus erreichbar zu sein. (Einstiegpunkt für die direkte Toneingabe: Zeile 175 in **Flußdiagramm 3.2** und in Abschnitt 3.5 „Programmauflistung").

3.1.1 Toneingabeschleife

Wenn man in die Toneingabeschleife einsteigt, so muß zuerst einmal dem Tonzähler (Z) ein Anfangswert zugewiesen werden (Zeile 170). Dieser Anfangswert (AN) ist, wenn man die Melodie neu beginnt, 0, wenn man eine bereits vorhandene Melodie fortsetzen will gleich GR (Zeile 735). Anschließend wird dieser Tonzähler bei jedem Durchlauf der Schleife um 1 erhöht (Zeile 185). Wenn der Zählerstand größer als 112 wird, erklärt man den Tonspeicher für voll (Zeile 190), und es geht eine Aufforderung an den Anwender, die Melodie in einer Datei zu speichern. Die Beschränkung auf 112 Töne (obwohl die Dimension von W 128 ist) ist notwendig, weil das Programm in der weiteren Folge die Möglichkeit zur Überschreibung und Verschiebung der Melodie (Kanonbildung) vorsieht, was bei Nutzung dieser Möglichkeit zu einer Speicherplatzüberschreitung führen würde. Zur Orientierung wird der jeweilige Zählerstand angezeigt (Zeile 195).

Nun kann mit der Eingabe der Noten begonnen werden. In Zeile 200 wird der Anwender aufgefordert, den Ton einzugeben. Durch die Eingabe von C,FIS,G usw. kann er die Art des Tones festlegen. In den Zeilen 250–315 wird geprüft, ob die Eingabe einem Ton (oder Ende oder Pausenzeichen) entspricht. Ist dies nicht der Fall, so wird "INPUT ERROR (Ton)" ausgedruckt und die Toneingabeaufforderung wiederholt. Wurde eine richtige Toneingabe identifiziert, so wird in den Zeilen 340–505 dem Umrechnungsfaktor UF ein der Eingabe entsprechender Wert für die relative Frequenz des Tones zugeordnet. Die relative Frequenz ist das Verhältnis einer Tonfrequenz zur Frequenz des Tones C. Die Zahlenwerte dafür wurden schon zu Beginn des Programms zur Einrichtung der Tonvariablen berechnet (Zeilen 50–130). Man ging dabei so vor, daß man die relativen Frequenzen einer gleichmäßig temperierten Tonleiter berechnete. Diese erhält man wiederum dadurch, daß man das Intervall einer Oktave (Abstand zweier C, d.h. Frequenzverhältnis 2) in zwölf harmonisch gleich große Schritte unterteilt. Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Halbtöne ist dabei gleich der zwölften Wurzel von 2 (1,05946).

Flußdiagramm 3.2



Wenn anstelle eines Tones „Ende“ eingegeben wird, so springt man über die Zeilen 250 und 465 wieder in das Hauptprogramm zurück.

Nach der Eingabe eines Tones wird mit der Eingabeaufforderung „Oktave=“ (Zeile 210) fortgesetzt. Hat man bei der Toneingabeaufforderung das Pausenzeichen P eingegeben, wird W(Z) = 30000 zugeordnet und das Programm mit der „Dauer=“-Eingabeaufforderung (Zeile 220) fortgesetzt.

Bei der Eingabeaufforderung „Oktave=“ soll der Anwender die Tonlage beschreiben (Zeile 210). Üblicherweise wird die Melodie in der sogenannten mittleren Tonlage gespielt, und man gibt daher den Wert 1 ein. Soll der Ton in höheren oder tieferen Tonlagen erklingen, muß man die entsprechenden Potenzen von 2 eingeben. Als mögliche Werte sind erlaubt: 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 und 32. In den Zeilen 470–505 wird geprüft, ob einer dieser Werte eingegeben wurde. Ist dies nicht der Fall, wird „INPUT ERROR (Oktave)“ angezeigt (Zeile 510) und die Eingabeaufforderung wiederholt. Wenn die Oktaveingabe richtig war, kann nun die Frequenz des Tones berechnet werden gemäß:

Frequenz=rel.Frequenz *Oktavlage * 262 Hz
W(Z) = UF * 0 * 262 (Zeile 520)

UF = Umrechnungsfaktor = relative Frequenz
O = Oktavlage (Potenz von 2)
262 Hz = Frequenz des mittleren C

Somit wäre die erste Aufgabe, die Eingabe der Tonfrequenz, gelöst. Das Programm setzt nun (Zeile 220) mit der Eingabeaufforderung „Dauer=“ fort. Hier kann ein beliebiger Wert aus dem Intervall $O < DA(Z) < 21$ eingegeben werden. Dieser Wert dient als relatives Maß für die Tonlänge. Die absolute Tonlänge kann beim Abspielen der Melodie durch die Eingabe des Tempos (siehe später) variiert werden. Durch die relative Tonlänge wird lediglich das Verhältnis der Tonlängen festgelegt. Wenn man normierte Tonlängen eingeben will, so kann man sich an folgenden Werten orientieren:

2 für eine Achtelnote
4 für eine Viertelnote (häufigste Note)
8 für eine halbe Note
16 für eine ganze Note

Es sei noch darauf hingewiesen, daß es im weiteren Programmverlauf noch eine Möglichkeit gibt, die Tonlängen nachträglich automatisch normieren zu lassen.

Wird ein Wert eingegeben, der größer gleich 21 ist, so wird „INPUT ERROR (Dauer)“ angezeigt und die Eingabeaufforderung wiederholt. Dadurch soll verhindert werden, daß beim Abspielen die Tondauer von 4,25 s überschritten wird, was zur Fehlermeldung und zum Abbrechen des Programms führen würde.

Nachdem nun alle Eingaben gemacht wurden, wird der Ton zur akustischen Kontrolle in der Zeile 240 (im einfachen Rechteckklang) gespielt und die Toneingabeschleife wieder von vorne begonnen.

3.2 Melodieabspielprogrammtest

Wenn man durch das Eintippen von ENDE die Toneingabeschleife verläßt und somit die Melodieeingabe abschließt, sollte man die eingegebene Tonsequenz kontrollieren. Am

einfachsten geschieht dies dadurch, daß man die Melodie abspielen läßt und sie dabei akustisch kontrolliert. Das in das Melodieeingabeprogramm integrierte kleine Melodieabspielprogramm hat zwar nur Zugriff auf vier Register und 112 Töne und bietet daher weniger Klangmöglichkeiten, wie das Hauptmelodieabspielprogramm; sein Zweck soll jedoch in erster Linie die Kontrolle der Melodie sein, bei der man auf einen ausgefeilten „Sound" verzichten kann.

Programmbeschreibung (siehe auch **Flußdiagramm 3.3**)

Da der Tonzähler (bevor man ENDE eingeben konnte) um 1 erhöht wurde, muß man vom momentanen Tonzählerstand wieder 1 subtrahieren, um zur Tonzählernummer des letzten Tones zu gelangen (Zeile 535). Dieser Tonzählerstand wird als Tonobergrenze (GR) gespeichert (Zeile 540). Der Tonobergrenzwert (GR) gibt im folgenden an, wie oft die Klangschleife zum Abspielen der Melodie durchlaufen werden muß.

Da nun soweit alles vorbereitet ist, meldet sich der Computer mit: „Melodie gespeichert, Abspielen der Melodie?" (Zeile 545). Wünscht man dies nicht (Eingabe von N für Nein), so geht er zur nächsten Frage über (Zeile 555). Antwortet man hingegen mit J (für Ja), so fragt er als nächstes nach dem gewünschten Tempo (Zeile 575). Sollte man eine falsche bzw. eine unzulässige Antwort eingeben, so wird dies, wie auch bei allen übrigen Eingabeaufforderungen, grundsätzlich angezeigt. Die falsch beantwortete Frage wird anschließend wiederholt. Bei der Tempo-Eingabeaufforderung wird als Antwort eine Zahl zwischen 1 und 40 erwartet. Im Bereich zwischen 1 und 8 gibt diese Zahl ungefähr an, mit wie vielen Anschlägen pro Sekunde eine Viertelnote gespielt wird (Anmerkung: es lassen sich nicht nur Ganze, sondern auch Dezimalzahlen eingeben). Bei der Angabe von Tempozahlen, die größer als 8 sind, ändert sich die Taktgeschwindigkeit nicht mehr. Derartige Eingaben bewirken lediglich, daß Dauertöne kürzer werden, was subjektiv ein rascheres Tempo empfinden läßt. Die Dauer der Percussionstöne bleibt unbeeinflußt. Sie hängt von der Eigendauer der jeweiligen Klangschleife ab.

Nach der Eingabe des Tempos wird ein Tempofaktor berechnet, der mit der relativen Tondauer multipliziert die absolute Tondauer festlegt gemäß:

$$\text{Tondauer} = DF/TF * DA(Z) = TE * DA(Z)$$

Hierbei ist:

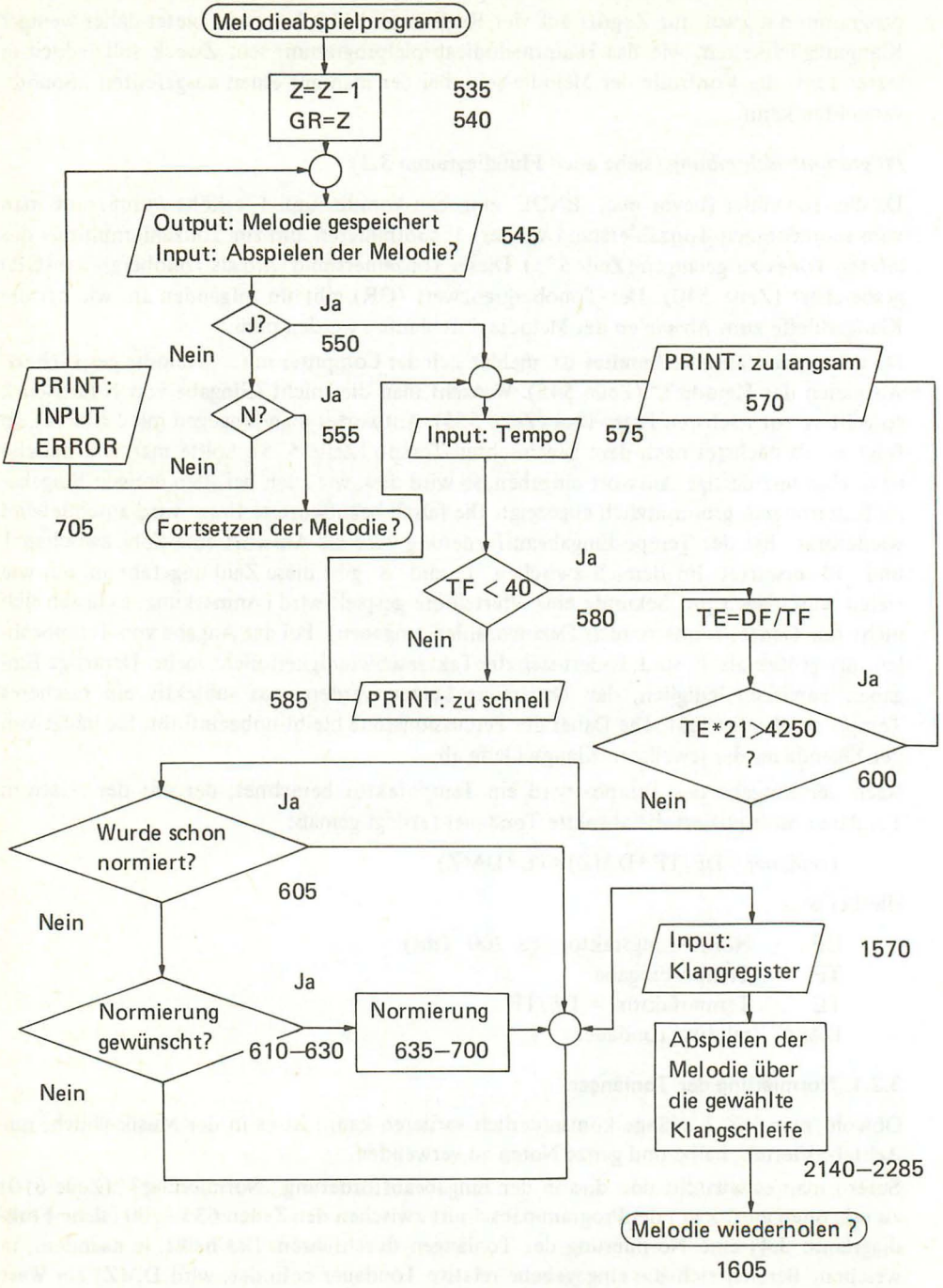
DF	Normierungsfaktor ca. 200 (ms)
TF	Tempo-Eingabe
TE	Tempofaktor = DF/TF
DA(Z)	relative Tondauer

3.2.1 Normierung der Tonlängen

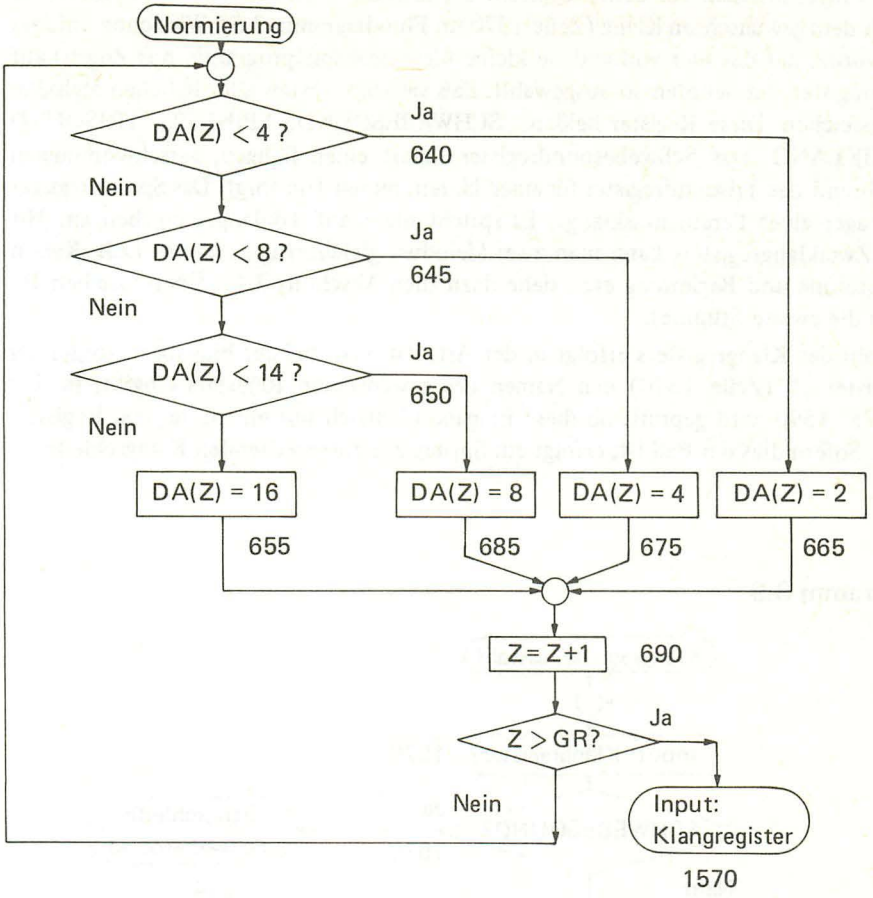
Obwohl man die Tonlänge kontinuierlich variieren kann, ist es in der Musik üblich, nur Achtel-, Viertel-, halbe und ganze Noten zu verwenden.

Sofern man es wünscht und dies in der Eingabeaufforderung „Normierung?" (Zeile 610) zu erkennen gibt, kann der Programmabschnitt zwischen den Zeilen 635–700 (siehe **Flußdiagramm 3.4**) eine Normierung der Tonlängen durchführen. Das heißt, je nachdem, in welchem Bereich sich die eingegebene relative Tondauer befindet, wird DA(Z) ein Wert zugeordnet, der einer Achtel-, Viertel-, halben oder ganzen Note entspricht. Nun werden

Flußdiagramm 3.3



Flußdiagramm 3.4



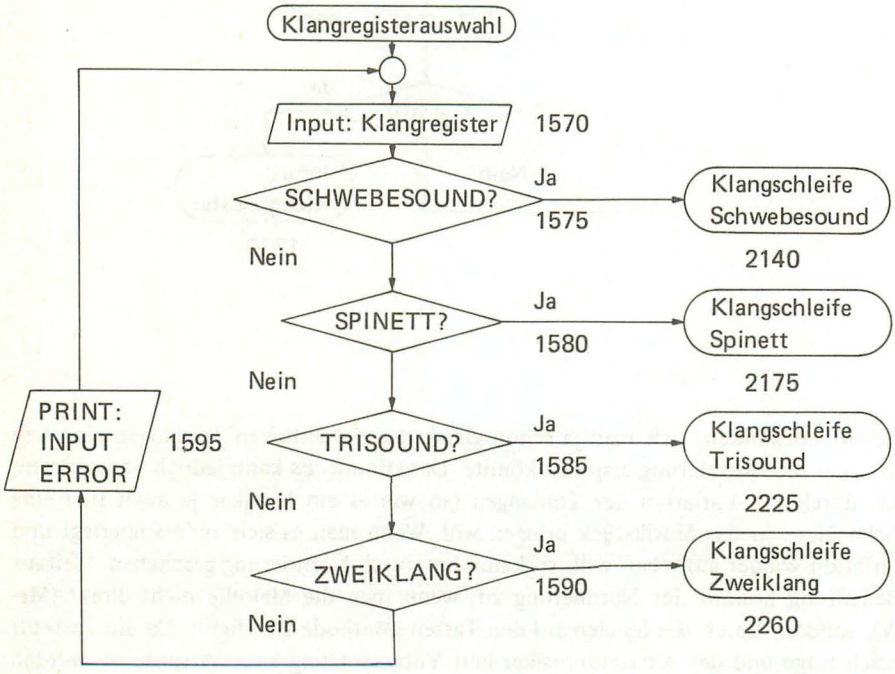
Sie vielleicht einwenden, daß man ja schon gleich die einheitlichen Tonlängen eingeben und sich daher die Normierung ersparen könnte. Das stimmt. Es kann jedoch vorkommen, daß man durch die Variation der Tonlängen (so wie es ein Musiker ja auch tut) eine persönliche Note in das Musikstück bringen will. Wenn man es sich anders überlegt und diese Variation wieder aufheben will, so kann dies durch Normierung geschehen. Weitaus mehr Bedeutung kommt der Normierung zu, wenn man die Melodie nicht direkt (**Methode A**), sondern durch das Spielen auf den Tasten (**Methode B**) eingibt. Da die Tastatur mechanisch träge und der Amateurmusiker laut Voraussetzung kein Virtuose ist, werden bei dieser Methode sehr unregelmäßige Tonlängen eingegeben. Dies würde sich, sofern man nicht normiert, sehr störend auf den Klang der Melodie auswirken.

3.2.2 Klangregisterauswahl

Die letzte Frage, die man vor dem Abspielen der Melodie noch beantworten muß, ist die Frage nach dem gewünschten Klang (Zeile 1570 im **Flußdiagramm 3.5**). Wie schon anfangs erwähnt wurde, hat das hier vorhandene kleine Melodieabspielprogramm nur Zugriff auf vier Klangregister. Sie wurden so ausgewählt, daß sie zum Testen aller üblichen Melodieeffekte ausreichen. Diese Register heißen: SCHWEBESOUND, SPINETT, TRISOUND und ZWEIKLANG. Das Schwebesoundregister liefert einen fülligen, verschwommenen Klang, während das Trisoundregister für einen klaren, reinen Ton sorgt. Das Spinettregister ist der Träger eines Percussionsklangs. Es spricht nicht auf Tonlängenangaben an. Mit Hilfe des Zweiklangregisters kann man zwei Melodien gleichzeitig abspielen (z.B. Kanon oder Singstimme und Begleitung etc., siehe dazu auch Abschnitt 3.4e, Überschreiben der Melodie in die zweite Stimme).

Die Auswahl des Klangregisters erfolgt in der Art, daß man bei der Eingabeaufforderung „Klangregister :" (Zeile 1570) den Namen des gewünschten Registers eingibt. In den Zeilen 1575–1590 wird geprüft, ob diese Eingabe identisch mit einem der vier Registernamen ist. Sofern dies der Fall ist, erfolgt ein Sprung zur entsprechenden Klangschleife.

Flußdiagramm 3.5



3.2.3 Klangschleifen

(Zeilen 2140–2285)

Eine Klangschleife ist eine FOR-NEXT-Schleife, die ein oder mehrere CALL-SOUND-Statements einschließt. Die Kontrollvariable dieser Schleife ist mit der Tonzählernummer identisch. Sie läuft mit einer Schrittlänge von 1 von Z=1 bis Z=GR (GR: Nummer des letzten Tones der Melodie). Auf diese Weise werden in die CALL-SOUND-Statements der Reihe nach die Werte für die Dauer DA(Z) und die Frequenz W(Z) der Töne der Melodie eingetragen, so daß die Tonsequenz sukzessiv abgespielt wird. Nach dem Ende der Schleifendurchläufe erfolgt ein Sprung zur Frage: „Melodie wiederholen?" (Zeile 1605 im **Flußdiagramm 3.6**).

3.2.4 Wiederholung der Melodie

Will man die Melodie noch einmal abhören, braucht man die eben genannte Frage nur mit J zu beantworten. Man wird dann im folgenden (Zeilen 1630–1675) noch vor die Wahl gestellt, sich für dasselbe oder ein anderes Tempo und für denselben oder einen anderen Klang zu entscheiden.

Sollte man die Melodie nicht noch einmal hören wollen (Antwort N), so geht das Programm zur Eingabeaufforderung „Fortsetzen der Melodie?" (Zeile 705) über.

Einen Überblick über die verschiedenen Wege, die man in diesem Programmabschnitt einschlagen kann, geben die Flußdiagramme.

3.3 Melodieeingabe durch Spielen auf der Tastatur

Wie schon anfangs erwähnt wurde, kann man mit Hilfe des CALL-KEY-Statements die Computertastatur in eine Art Klaviertastatur umfunktionieren, auf der sich die Melodie in herkömmlicher Weise spielen läßt. Das CALL-KEY-Statement hat folgende Form:

CALL KEY (0, K, S)

Es bewirkt, daß der ASCII-Code jener Taste, die gerade gedrückt wird, wenn das Programm das CALL-KEY-Statement erreicht, im Speicher K gespeichert wird (K: Rückmeldevariable). Die Zahl 0 gibt den Tastenmodus an, was in diesem Zusammenhang nicht weiter wichtig ist. Im Speicher S (S: Statusvariable) werden folgende Werte gespeichert:

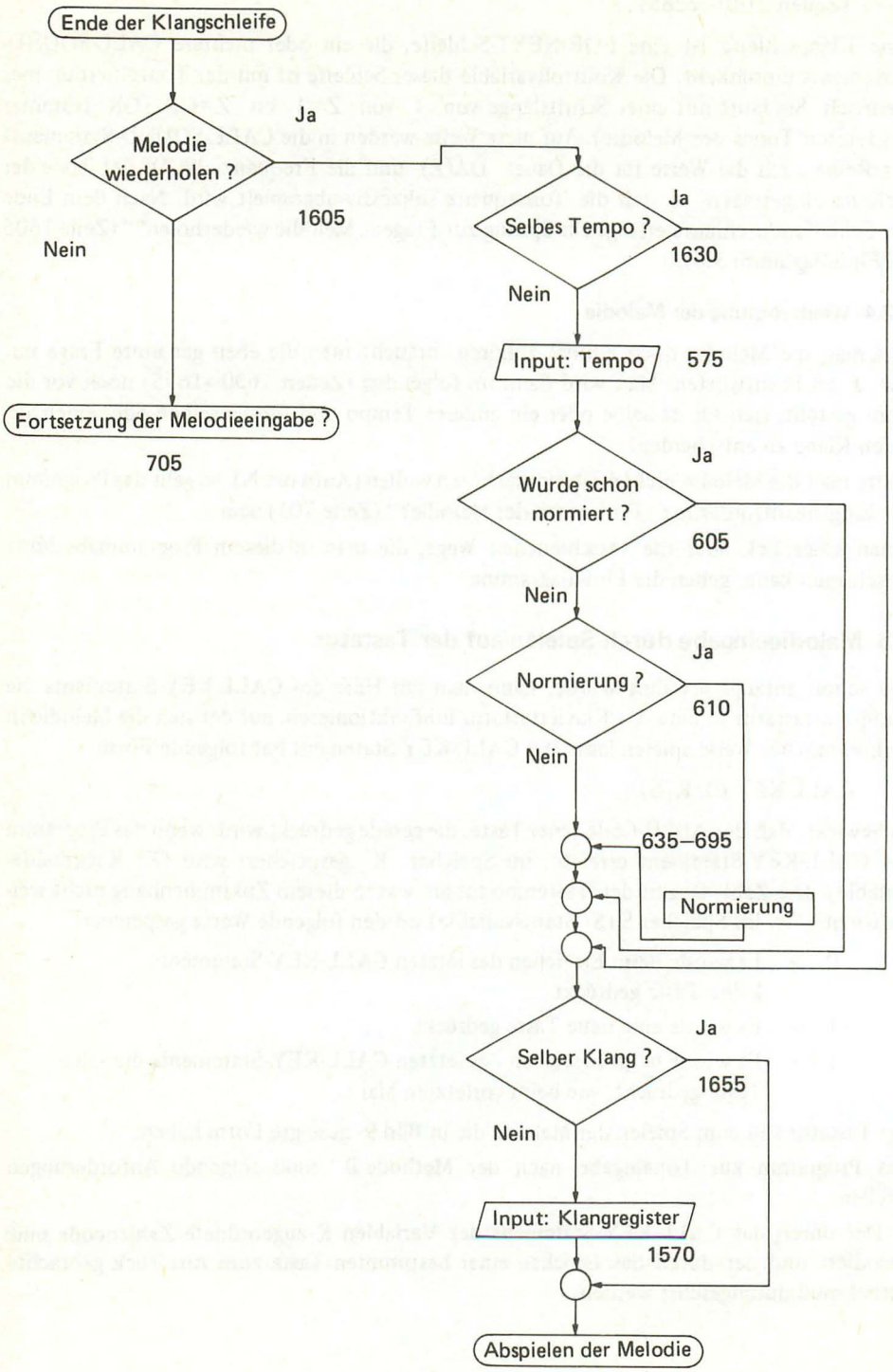
- 0 → Es wurde beim Erreichen des letzten CALL-KEY-Statements keine Taste gedrückt
- +1 → Es wurde eine neue Taste gedrückt
- −1 → Es wurde beim Erreichen des letzten CALL-KEY-Statements die selbe Taste gedrückt, wie beim vorletzten Mal

Die Tastatur soll zum Spielen der Melodie die in **Bild 9** gezeigte Form haben.

Das Programm zur Toneingabe nach der **Methode B** muß folgende Anforderungen erfüllen:

1. Der durch das CALL-KEY-Statement der Variablen K zugeordnete Zahlencode muß decodiert und der durch das Drücken einer bestimmten Taste zum Ausdruck gebrachte Befehl muß durchgeführt werden.

Flußdiagramm 3.6



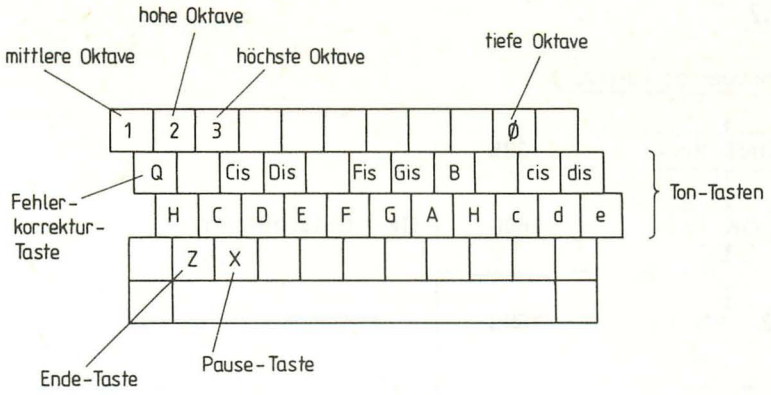


Bild 9 Tastaturbelegung zum Spielen von Melodien

Dieser Befehl lautet:

a) *Beim Drücken einer Ton-Taste.* Der Tonzähler wird um 1 weitergezählt. Es wird der Variablen W(Z) ein der Taste entsprechender Wert für die Tonfrequenz zugeordnet, der anschließend mit dem im Oktavregister gespeicherten Wert multipliziert wird, wodurch die absolute Tonfrequenz erhalten wird. Diese wird eingespeichert (in W(Z)) und auch in ein CALL-SOUND-Statement eingegeben, das den Ton zur akustischen Kontrolle abspielt.

b) *Beim Drücken einer Oktav-Taste.* Es wird dem Oktavregister (OK) ein Wert (0,5; 1; 2 oder 4) für die Oktavlage zugeordnet.

c) *Beim Drücken der Taste Q.* Der eben eingegebene Ton wird eliminiert.

d) *Beim Drücken der Taste X.* Der Tonzähler Z wird um 1 weitergezählt. W(Z) wird das Pausenzeichen 30000 zugeordnet, und ein hoher Ton (10 kHz) wird zur akustischen Kontrolle der Pauseneingabe abgespielt.

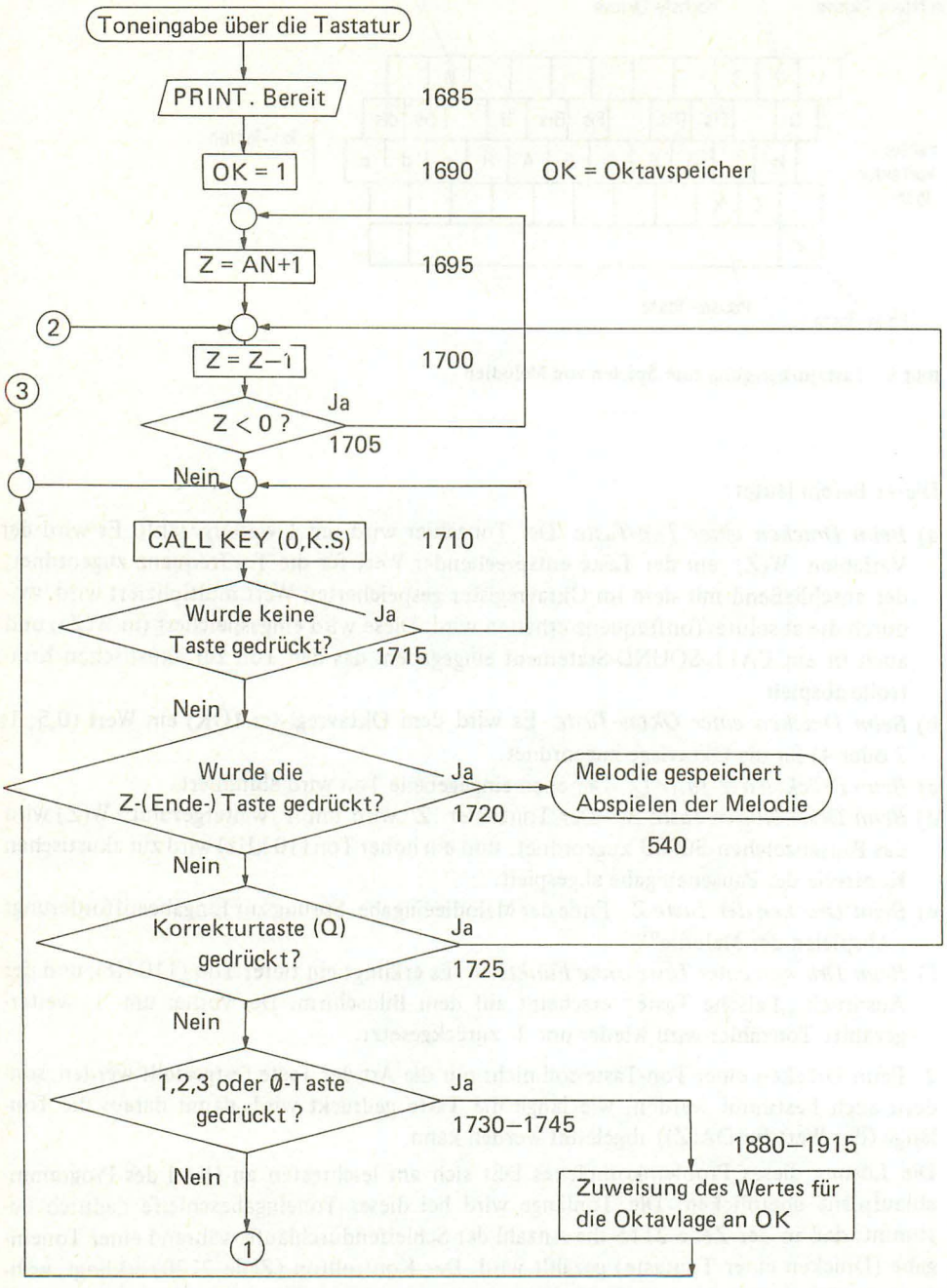
e) *Beim Drücken der Taste Z.* Ende der Melodieeingabe. Sprung zur Eingabeaufforderung: „Abspielen der Melodie?"

f) *Beim Drücken einer Taste ohne Funktion.* Es erklingt ein tiefer Ton (110 Hz), und der Ausdruck „Falsche Taste" erscheint auf dem Bildschirm. Der vorher um 1 weitergezählte Tonzähler wird wieder um 1 zurückgesetzt.

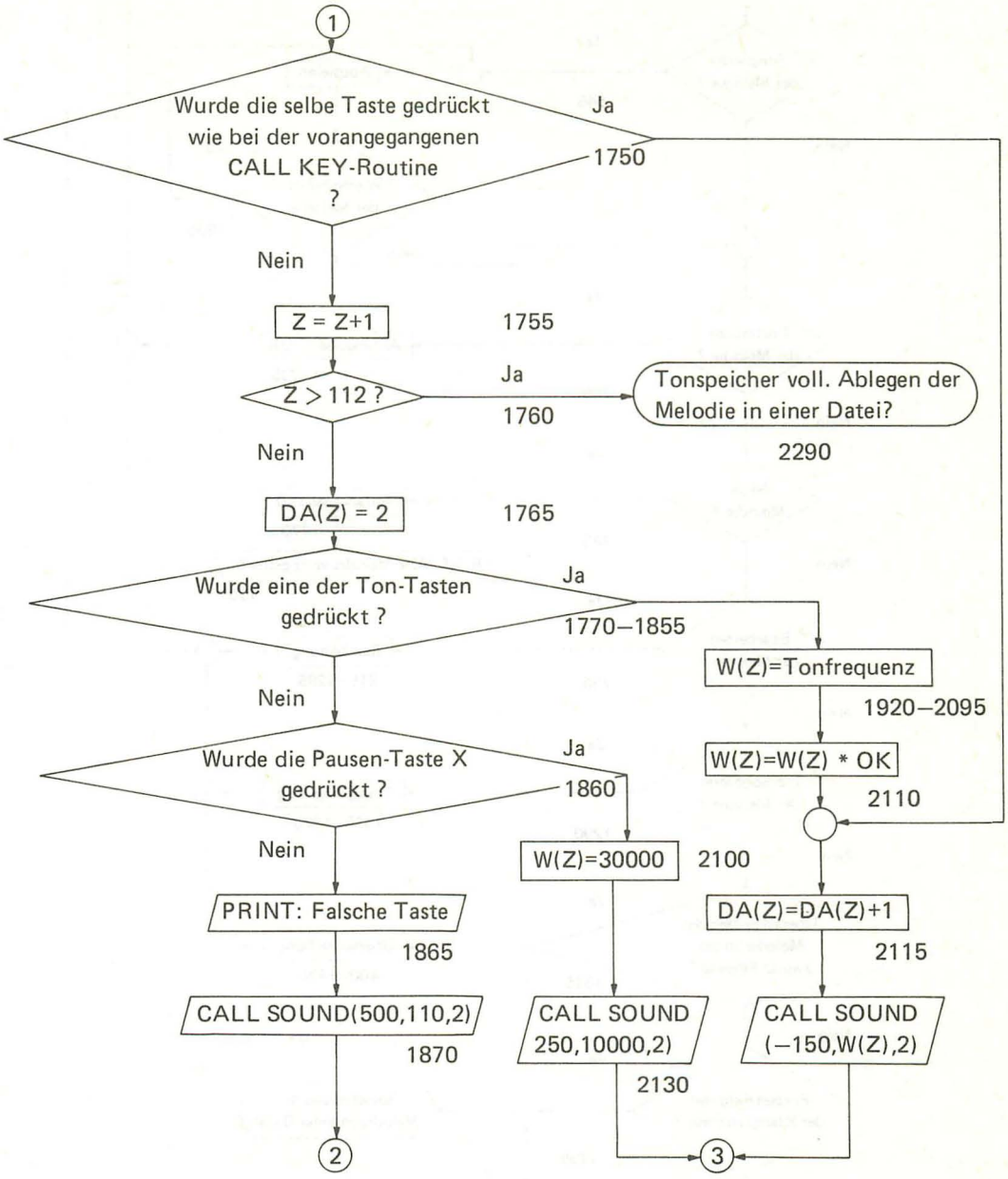
2. Beim Drücken einer Ton-Taste soll nicht nur die Art der Taste festgestellt werden, sondern auch bestimmt werden, wie lange die Taste gedrückt wird, damit daraus die Tonlänge (der Wert für DA(Z)) abgeleitet werden kann.

Die Lösung dieses Problemkomplexes läßt sich am leichtesten an Hand des Programmablaufplans überblicken. Die Tonlänge wird bei dieser Toneingabeschleife dadurch bestimmt, daß in der Zeile 2115 die Anzahl der Schleifendurchläufe während einer Toneingabe (Drücken einer Tontaste) gezählt wird. Der Kontrollton (Zeile 2120) erklingt, während das Programm weiterläuft. Dadurch erhält man das Gefühl, daß man auf einem richtigen Musikinstrument spielt. Die restlichen Programmabschnitte sind vom **Flußdiagramm 3.7** her unmittelbar einsichtig.

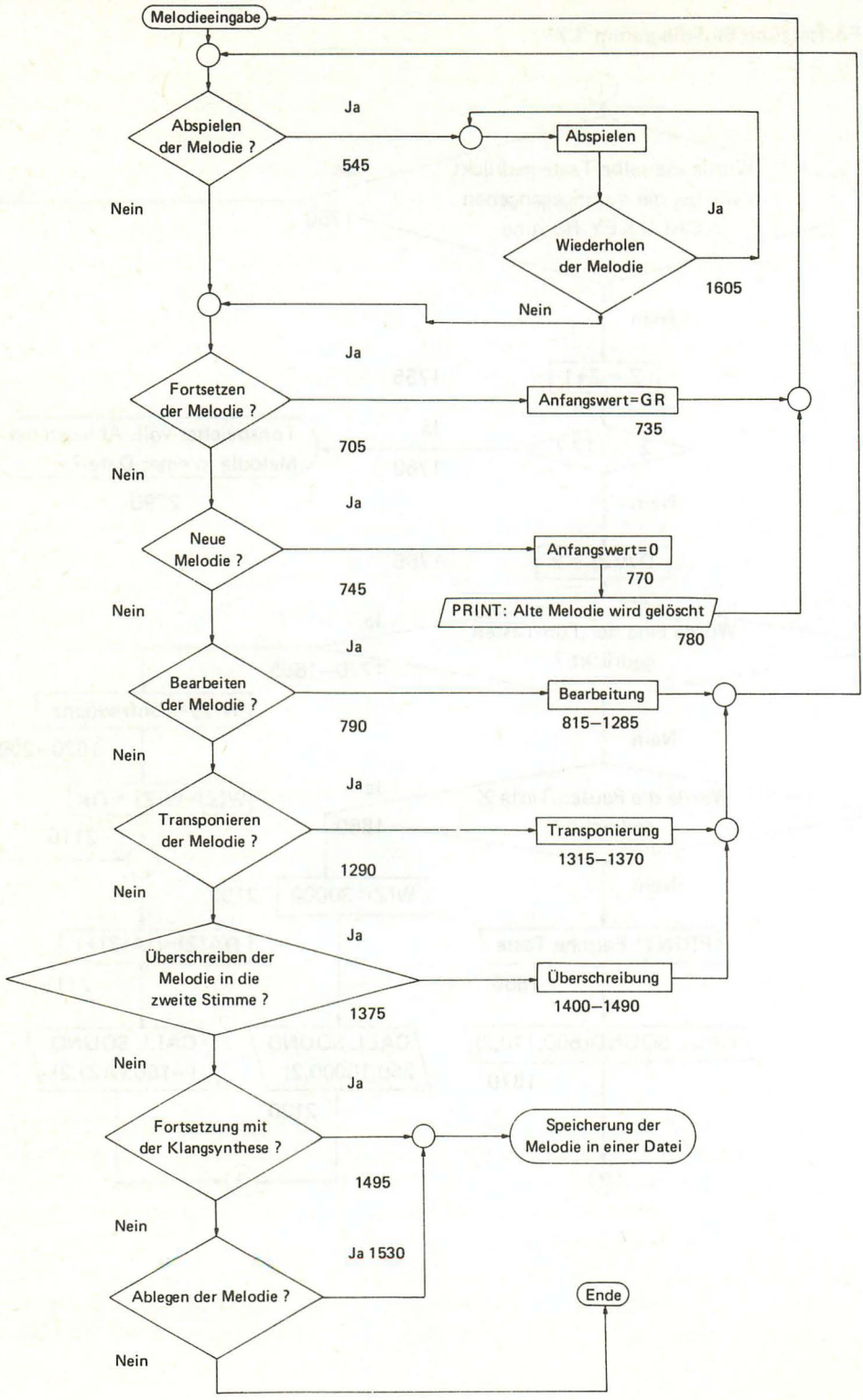
Flußdiagramm 3.7



Fortsetzung Flußdiagramm 3.7



Flußdiagramm 3.8



3.4 Bearbeitung der Melodie

Wenn man die Melodie eingegeben und zur Kontrolle einmal angehört hat, ist die Arbeit in der Regel noch nicht beendet. Man kann (oder muß) die Melodie korrigieren, transponieren, durch ein weiteres Melodiestück ergänzen oder in die zweite Stimme überschreiben.

a) *Fortsetzen der Melodie.* Wenn die eingegebene Melodie nur ein Teilstück einer längeren Melodie ist, so kann man sich in der Zeile 705 (siehe auch **Flußdiagramm 3.8**) für die Fortsetzung der Melodie entscheiden. Es wird dann dem Anfangswert (AN) die Tonzählernummer des letzten eingegebenen Tones (GR) zugeordnet, und es erfolgt ein Sprung zum Toneingabeprogrammabschnitt in dem die Toneingabe wie zuvor fortgesetzt werden kann.

b) *Neue Melodie.* Wenn sich beim Anhören der Melodie herausstellt, daß sie zu viele Fehler enthält, als daß sich eine Korrektur lohnen würde, kann man die Melodieeingabe auch wieder von ganz vorne beginnen (Zeile 745). Es wird dabei dem Anfangswert die Zahl 0 zugeordnet. Die alte Melodie wird bei der erneuten Melodieeingabe überschrieben, was einem Löschen gleichkommt. Dies gilt allerdings nur für die erste Stimme. Die zweite Stimme (V(Z)) ist davon nicht betroffen.

c) *Bearbeiten der Melodie.* Enthält die Melodie nur einige wenige Fehler, kann man diese leicht korrigieren. Der Einstiegspunkt in den Programmabschnitt zum Bearbeiten der Melodie ist die Eingabeaufforderung in Zeile 790. Wenn man die Frage „Bearbeiten der Melodie?" mit J beantwortet, wird die Tonzählernummer (Z) wieder auf 0 zurückgesetzt und jeder Ton der Reihe nach langsam abgespielt (siehe **Flußdiagramm 3.9**) Dabei werden auch gleichzeitig die Werte von Z, W(Z), V(Z) und DA(Z) auf dem Bildschirm aufgelistet (Zeile 840). Wenn die Enter-Taste permanent gedrückt wird, so werden die Töne kontinuierlich der Reihe nach abgespielt (Zeile 845). Läßt man diese Taste los, stopt man nach jedem Ton, und es erscheint jeweils die Eingabeaufforderung „Soll der nächste Ton gespielt werden?" (Zeile 855). Sofern man diese Frage mit N beantwortet, erscheint die nächste Eingabeaufforderung mit der Frage „Korrektur dieses Tones?" (Zeile 880). Wünscht man dies, so wird zunächst die Art des Tones und die Oktavlage aus der Frequenz des Tones (W(Z)) berechnet und zur leichteren Orientierung auf dem Bildschirm angezeigt (Zeilen 905–1055). Man geht dabei von folgendem Ansatz aus:

Tonfrequenz = 262 Hz * Oktavlage * $1{,}05946^n$ (siehe vorne)

n = ganze Zahl

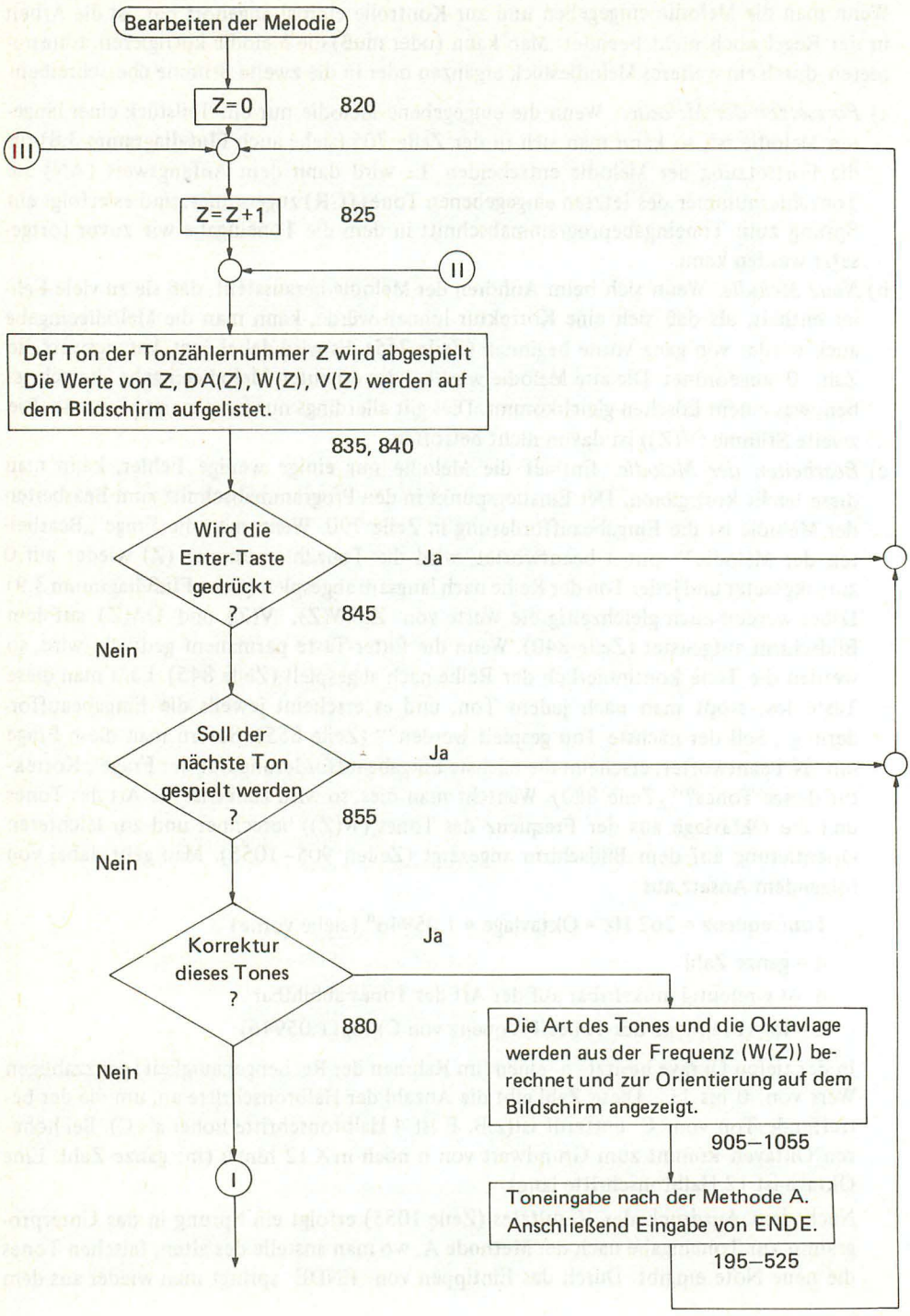
n ist eindeutig umkehrbar auf der Art des Tones abbildbar

n = log (Frequenz des Tones/Frequenz von C)/log(1,05946)

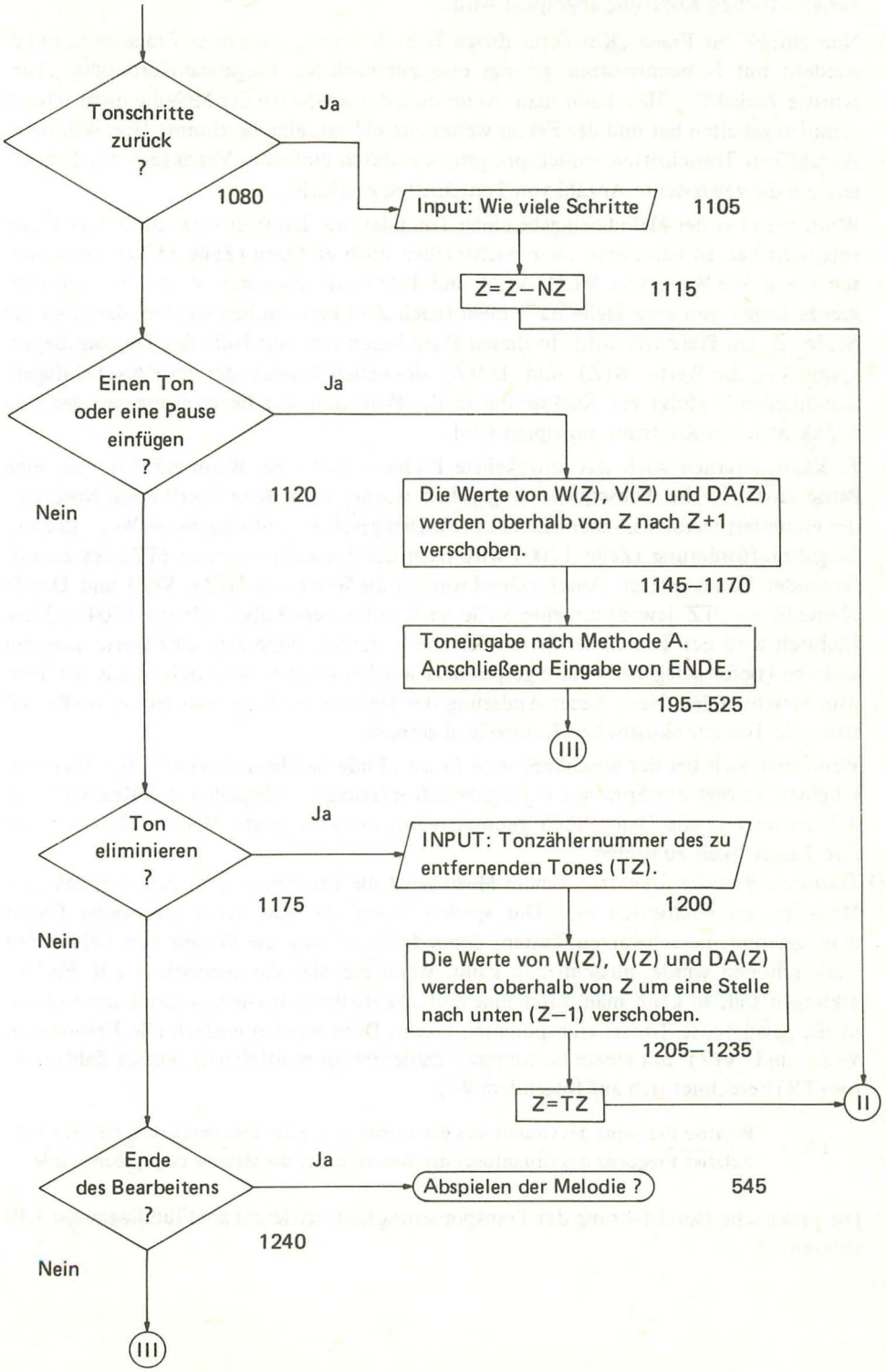
In der tiefen Oktave besitzt n einen (im Rahmen der Rechengenauigkeit) ganzzahligen Wert von 0 bis 11. Diese Zahl gibt die Anzahl der Halbtonschritte an, um die der betreffende Ton von C entfernt ist(z.B. E ist 4 Halbtonschritte höher als C). Bei höheren Oktaven kommt zum Grundwert von n noch m X 12 hinzu (m: ganze Zahl. Eine Oktave ist 12 Halbtonschritte lang).

Nach dem Ausdruck des Resultates (Zeile 1055) erfolgt ein Sprung in das Unterprogramm zur Toneingabe nach der **Methode A**, wo man anstelle des alten, falschen Tones die neue Note eingibt. Durch das Eintippen von ENDE springt man wieder aus dem

Flußdiagramm 3.9



Fortsetzung Flußdiagramm 3.9



Toneingabeunterprogramm heraus in das Programm zur Bearbeitung, wo die neue Note zur akustischen Kontrolle abgespielt wird.

Nun zurück zur Frage „Korrektur dieses Tones?". Sollte man diese Frage nicht mit J, sondern mit N beantworten, gelangt man zur nächsten Eingabeaufforderung „Tonschritte zurück?". Hier kann man, wenn man das Abspielen der Melodie nicht schnell genug angehalten hat und der Fehler weiter zurückliegt, eine bestimmte (frei wählbare) Anzahl von Tonschritten zurückspringen, was durch einfaches Verringern des Tonzählers um die gewünschte Anzahl von Tonschritten geschieht.

Wenn man bei der Melodieeingabe einen Ton oder, was häufiger vorkommt, eine Pause vergessen hat, so kann man diese nachträglich noch einfügen (Zeile 1120). Dazu müssen zuerst alle Werte von W(Z), V(Z) und DA(Z), die zwischen Z und der Tonobergrenze liegen, um eine Stelle nach oben (nach Z+1) verschoben werden, damit an der Stelle Z ein Platz frei wird. In diesen Platz lassen sich, mit Hilfe des Toneingabeprogramms A, die Werte W(Z) und DA(Z) des neuen Tones (oder der Pause) einfügen. Anschließend erfolgt ein Rücksprung in das Programm zur Bearbeitung, wo der Ton zur akustischen Kontrolle abgespielt wird.

Es kann natürlich auch das umgekehrte Problem auftreten. Wenn ein Ton oder eine Pause zuviel in die Tonsequenz eingegeben wurde, muß diese überflüssige Note wieder eliminiert werden können (Zeile 1175). Dies geschieht auf folgendem Weg: In einer Eingabeaufforderung (Zeile 1200) wird nach der Tonzählernummer (TZ) des zu entfernenden Tones gefragt. Anschließend werden die Werte von W(Z), V(Z) und DA(Z) oberhalb von TZ jeweils um eine Stelle nach unten verschoben (Zeilen 1204–1235). Dadurch wird der Ton an der Stelle TZ überschrieben, ohne daß seine Werte in einem anderen (tiefer gelegenen) Platz gespeichert werden würden, wodurch er aus der Tonliste verschwindet. Nach dieser Änderung der Melodie wird der nun an der Stelle TZ stehende Ton zur akustischen Kontrolle abgespielt.

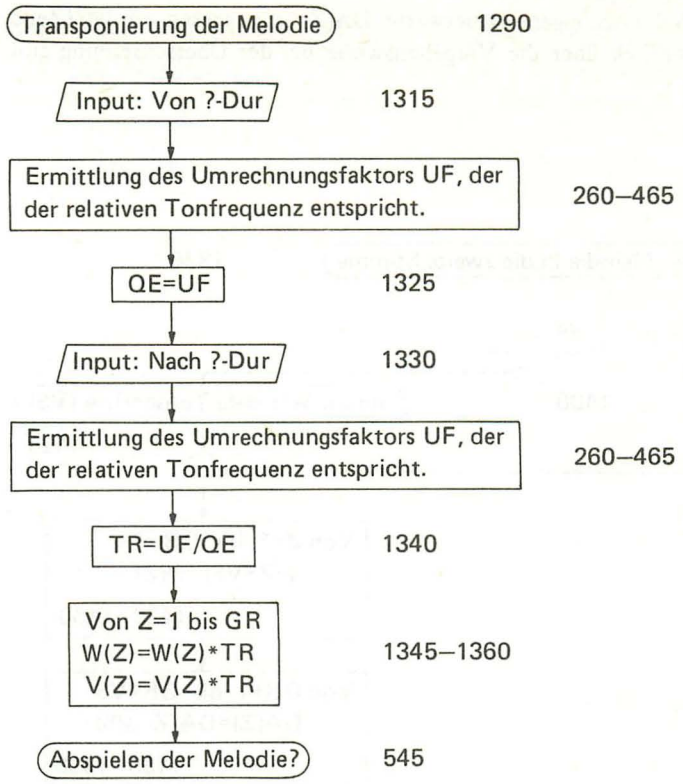
Wenn man sich bei der abschließenden Frage „Ende des Bearbeitens?" für J(a) entscheidet, erfolgt ein Sprung zur Eingabeaufforderung: „Abspielen der Melodie?", so daß einem nun die Gelegenheit geboten wird, die korregierte Melodie akustisch auf ihre Tauglichkeit zu prüfen.

d) *Transponieren der Melodie.* Einem Musiker ist die Erkenntnis sehr geläufig, daß sich Melodien am leichtesten in C-Dur spielen lassen, da man dabei nur weiße Tasten benötigt und die schwarzen Tasten, deren Einbeziehung die Gefahr von Fehlgriffen stark erhöhen würde, ausschließen kann. Wenn die Melodie dennoch in z.B. Fis-Dur erklingen soll, so kann man durch eine einfache mathematische Operation die Melodie in die gewünschte Tonart transponieren lassen. Dazu werden einfach alle Frequenzen W(Z) und V(Z) mit einem bestimmten Zahlenfaktor multipliziert. Dieser Zahlenfaktor (TR) berechnet sich auf folgendem Weg:

$$TR = \frac{\text{Relative Frequenz des Grundtones der Tonart, in die die Transponierung erfolgen soll}}{\text{Relative Frequenz des Grundtones der Tonart, in der die Melodie eingegeben wurde}}$$

Die praktische Durchführung der Transponierung läßt sich leicht am **Flußdiagramm 3.10** ablesen.

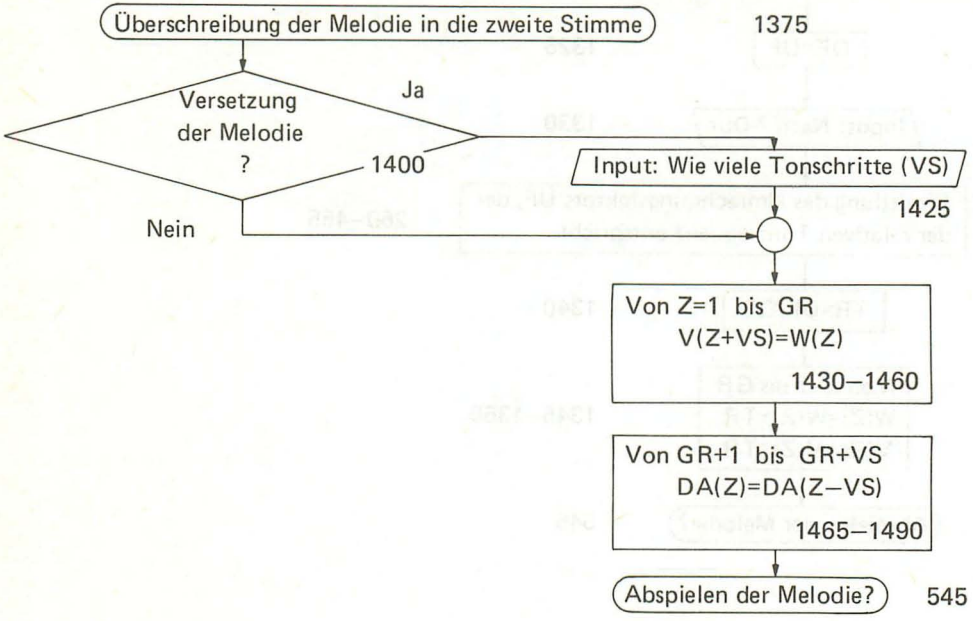
Flußdiagramm 3.10



e) *Überschreibung der Melodie in die zweite Stimme.* Es ist manchmal wünschenswert, nicht nur eine Solostimme, sondern zwei Stimmen (z.B. Melodie und Begleitung) gleichzeitig vom Computer abspielen zu lassen. Man kann dabei so vorgehen, daß man zuerst die erste Melodie (bzw. die Begleitung) eingibt und diese durch das Überschreibungsprogramm in die zweite Stimme (in die Speicherplätze V(Z)) überschreiben läßt. Anschließend gibt man die zweite Melodie (über den Weg „Neue Melodie? – Ja") ein (es werden dadurch die Speicher W(Z) neu aufgefüllt). Beide Melodien können dann durch ein Register, das auf zwei Frequenzfelder anspricht, gleichzeitig abgespielt werden (Register, die nur auf ein Frequenzfeld ansprechen, spielen nur die Melodie ab, die in W(Z) steht). Die Überschreibung selbst erfolgt einfach dadurch, daß V(Z) die Werte von W(Z) zugewiesen werden. Das Programm sieht auch die Bildung eines Kanons als Wahlmöglichkeit vor (Anmmerkung: Ein Kanon entsteht, wenn dieselbe Melodie zweimal, jedoch zeitlich etwas versetzt, abgespielt wird). Man braucht zur Kanonbildung nur die Frage „Versetzung der Melodie?" mit J zu beantworten und die Anzahl der Tonschritte, um die die Versetzung erfolgen soll, eingeben. Die Werte von W(Z) werden dann nicht nach V(Z), sondern nach V(Z+VS) überschrieben (Zei-

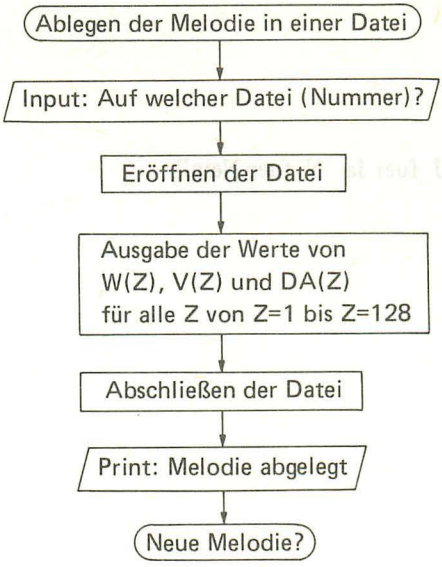
len 1430–1460). Da durch diese Maßnahme die zweite Melodie zwangsläufig länger dauert (um VS Tonschritte) als die erste Stimme, müssen den Tönen im Bereich von Z=GR+1 bis Z=GR+VS noch eigene Dauerwerte DA(Z) zugewiesen werden (Zeile 1465–1490). Einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Überschreibung gibt **Flußdiagramm 3.11.**

Flußdiagramm 3.11

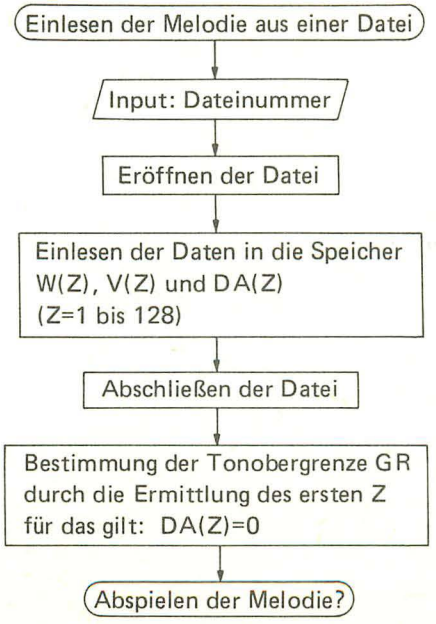


f) *Ablegen der Melodie in einer Datei.* Die Vorgehensweise beim Ablegen der Melodie in eine Datei und umgekehrt beim Einlesen einer Melodie aus einer Datei (Melodieeingabe nach der **Methode C**) ist aus den **Flußdiagrammen 3.12** und **3.13** unmittelbar ersichtlich. Das dazugehörige Programm steht zwischen den Zeilen 2290 und 2410. Es braucht bei den entsprechenden Dateinummer-Eingabeaufforderungen lediglich die Dateinummer (Wert zwischen 1 und 255) eingegeben und der Cassettenrecorder laut Bildschirminstruktionen bedient zu werden. Alles übrige erledigt der Computer.

Flußdiagramm 3.12



Flußdiagramm 3.13



3.5 Programmauflistung

```
 10   DIM T(12)
 15   DIM W(128)
 20   DIM V(128)
 25   DIM DA(128)
 30   LET DF=200
 35   LET I$="INPUT ERROR. Druecken Sie  J  fuer Ja   N  fuer Nein"
 40   CALL CLEAR
 45   PRINT "Melodieeingabeprogramm"::::::
 50   REM Gleichmaessig temperierte Tonleiter
 55   LET T(1)=1
 60   FOR S=2 TO 12
 65   LET T(S)=T(S-1)*1.05946
 70   NEXT S
 75   LET C=1
 80   LET CIS=T(2)
 85   LET D=T(3)
 90   LET DIS=T(4)
 95   LET E=T(5)
100   LET F=T(6)
105   LET FIS=T(7)
110   LET G=T(8)
115   LET GIS=T(9)
120   LET A=T(10)
125   LET B=T(11)
130   LET H=T(12)
135   INPUT "Melodieeingabe
                (A) Direkt
                (B) Ueber die Tastatur
                (C) Datei " : W$
140   IF W$="A" THEN 170
145   IF W$="B" THEN 1685
150   IF W$="C" THEN 2360
155   PRINT "INPUT ERROR.A oder B oder C"
160   GO TO 135
165   REM Toneingabe
170   LET Z=AN
175   GOSUB 185
180   GO TO 535
185   LET Z=Z+1
190   IF Z>112 THEN 2290
195   PRINT "Tonzaehler = ";Z:
200   INPUT "Ton = ":T$
205   GO TO 250
210   INPUT "Oktave = ": 0
```

```
215  GO TO 470
220  INPUT "Dauer = ":DA(Z)
225  IF DA(Z) < 21 THEN 240
230  PRINT "INPUT ERROR (Dauer)"
235  GO TO 220
240  CALL SOUND(DA(Z)*200,W(Z),2)
245  GO TO 185
250  IF T$ ="ENDE" THEN 465
255  IF T$ ="P" THEN 330
260  IF T$ ="C" THEN 340
265  IF T$ ="CIS" THEN 350
270  IF T$ ="D" THEN 360
275  IF T$ ="DIS" THEN 370
280  IF T$ ="E" THEN 380
285  IF T$ ="F" THEN 390
290  IF T$ ="FIS" THEN 400
295  IF T$ ="G" THEN 410
300  IF T$ ="GIS" THEN 420
305  IF T$ ="A" THEN 430
310  IF T$ ="B" THEN 440
315  IF T$ ="H" THEN 450
320  PRINT "INPUT ERROR (Ton)"
325  GO TO 200
330  LET W(Z)=30000
335  GO TO 220
340  LET UP=1
345  GO TO 455
350  LET UF=CIS
355  GO TO 455
360  LET UF=D
365  GO TO 455
370  LET UF=DIS
375  GO TO 455
380  LET UF=E
385  GO TO 455
390  LET UF=F
395  GO TO 455
400  LET UF=FIS
405  GO TO 455
410  LET UF=G
415  GO TO 455
420  LET UF=GIS
425  GO TO 455
430  LET UF=A
435  GO TO 455
```

```
440   LET UF=B
445   GO TO 455
450   LET UF=H
455   IF TS$="J" THEN 465
460   GO TO 210
465   RETURN
470   IF 0=0.25 THEN 520
475   IF 0=0.5 THEN 520
480   IF 0=1 THEN 520
485   IF 0=2 THEN 520
490   IF 0=4 THEN 520
495   IF 0=8 THEN 520
500   IF 0=16 THEN 520
505   IF 0=32 THEN 520
510   PRINT "INPUT ERROR (Oktave)"
515   GO TO 210
520   LET W(Z)=UF*0*262
525   GO TO 220
530   REM GR= endgueltige Zahl der Toene
535   LET Z=Z-1
540   LET GR=Z
545   INPUT "Melodie eingespeichert.  Abspielen der Melodie?" :A$
550   IF A$ ="J" THEN 575
555   IF A$ ="N" THEN 705
560   PRINT I$ ::
565   GO TO 545
570   PRINT "Zu langsam"
575   INPUT "Tempo ?": TF
580   IF TF < 40 THEN 595
585   PRINT "Zu schnell"
590   GO TO 575
595   LET TE=DF/TF
600   IF TE*21 >4250 THEN 570
605   IF N$ ="J" THEN 695
610   INPUT "Normierung ?": N$
615   IF N$ ="J" THEN 635
620   IF N$ ="N" THEN 695
625   PRINT I$ ::
630   GO TO 610
635   FOR Z=1 TO GR
640   IF DA(Z) < 4 THEN 665
645   IF DA(Z) < 8 THEN 675
650   IF DA(Z) < 14 THEN 685
655   LET DA(Z)=16
660   GO TO 690
```

```
665  LET DA(Z)=2
670  GO TO 690
675  LET DA(Z)=4
680  GO TO 690
685  LET DA(Z)=8
690  NEXT Z
695  IF TE$ ="N" THEN 1655
700  GOSUB 1565
705  INPUT "Fortsetzung der Melodie?":B$
710  IF B$ ="J" THEN 730
715  IF B$ ="N" THEN 745
720  PRINT I$ ::
725  GO TO 705
730  LET N$=" "
735  LET AN=GR
740  GO TO 135
745  INPUT "Neue Melodie?":C$
750  IF C$ ="J" THEN 770
755  IF C$ ="N" THEN 790
760  PRINT I$ ::
765  GO TO 745
770  LET AN=0
775  LET N$=" "
780  PRINT "Alte Melodie wird geloescht"
785  GO TO 135
790  INPUT "Bearbeiten der Melodie?":ED$
795  IF ED$ ="J" THEN 815
800  IF ED$ ="N" THEN 1290
805  PRINT I$ ::
810  GO TO 790
815  LET N$ =" "
820  LET Z=Ø
825  LET Z=Z+1
830  IF DA(Z)=Ø THEN 1240
835  CALL SOUND(-200*DA(Z),W(Z),2)
840  PRINT "Z= ".Z,"DA(Z)= ";DA(Z),"W(Z)= ";W(Z),"V(Z)= ";V(Z) ::
845  CALL KEY (0,KE,SE)
850  IF KE=13 THEN 825
855  INPUT "Naechster Ton?":NT$
860  IF NT$ ="J" THEN 825
865  IF NT$ ="N" THEN 880
870  PRINT I$ ::
875  GO TO 855
880  INPUT "Korrektur dieses Tones?":KE$
885  IF KE$="J" THEN 905
```

```
890  IF KE$="N" THEN 1080
895  PRINT I$ ::
900  GO TO 880
905  LET NN=LOG((W(Z)/131))/0.05775
910  LET OV=Ø
915  IF NN < 11.9 THEN 935
920  LET NN=NN-12
925  LET OV=OV+1
930  GO TO 915
935  ON NN+1  GO TO 940,950,960,970,980,990,1000,1010,1020,1030,1040,1050
940  LET U$="C"
945  GO TO 1055
950  LET U$="CIS"
955  GO TO 1055
960  LET U$="D"
965  GO TO 1055
970  LET U$="DIS"
975  GO TO 1055
980  LET U$="E"
985  GO TO 1055
990  LET U$="F"
995  GO TO 1055
1000 LET U$="FIS"
1005 GO TO 1055
1010 LET U$="G"
1015 GO TO 1055
1020 LET U$="GIS"
1025 GO TO 1055
1030 LET U$="A"
1035 GO TO 1055
1040 LET U$="B"
1045 GO TO 1055
1050 LET U$="H"
1055 PRINT "Ton =": U$
1060 GOSUB 195
1065 LET Z=Z-2
1070 LET GR=GR+1
1075 GO TO 825
1080 INPUT "Tonschritte zurueck?":TZ$
1085 IF TZ$ ="J" THEN 1105
1090 IF TZ$ ="N" THEN 1120
1095 PRINT I$ ::
1100 GO TO 1080
1105 INPUT "Wie viele Schritte?":NZ
1110 LET Z=Z-NZ
```

```
1115  GO TO 830
1120  INPUT "Einen Ton (oder Pause) einfuegen?":TP$
1125  IF TP$ ="J" THEN 1145
1130  IF TP$ ="N" THEN 1175
1135  PRINT I$ ::
1140  GO TO 1120
1145  FOR Z=GR+1  TO Z+1 STEP –1
1150  LET W(Z)=W(Z–1)
1155  LET V(Z)=V(Z–1)
1160  LET DA(Z)=DA(Z–1)
1165  NEXT Z
1170  GO TO 905
1175  INPUT "Ton eliminieren?":EL$
1180  IF EL$ ="J" THEN 1200
1185  IF EL$ = "N" THEN 1240
1190  PRINT I$ ::
1195  GO TO 1175
1200  INPUT "Tonzaehlernummer =":TZ
1205  FOR Z=TZ TO GR
1210  LET W(Z)=W(Z+1)
1215  LET V(Z)=V(Z+1)
1220  LET DA(Z)=DA(Z+1)
1225  NEXT Z
1230  LET Z=TZ
1235  GO TO 830
1240  INPUT "Ende des Bearbeitens?":EE$
1245  IF EE$ ="J" THEN 535
1250  IF EE$ ="N" THEN 1265
1255  PRINT I$ ::
1260  GO TO 1240
1265  IF DA(Z)<>0 THEN 825
1270  INPUT "Melodieende.Tonschritte zurueck?":ME$
1275  IF ME$ ="J" THEN 1105
1280  PRINT "Was wollen Sie eigentlich?"
1285  GO TO 1240
1290  INPUT "Transponieren der Melodie?":TS$
1295  IF TS$ ="J" THEN 1315
1300  IF TS$ ="N" THEN 1375
1305  PRINT I$ ::
1310  GO TO 1290
1315  INPUT "Von ?-Dur ": T$
1320  GOSUB 260
1325  LET QE=UF
1330  INPUT "Nach ?-Dur ":T$
1335  GOSUB 260
1340  LET TR=UF/QE
```

```
1345  FOR Z=1 TO GR
1350  LET W(Z)=W(Z)*TR
1355  LET V(Z)=V(Z)*TR
1360  NEXT Z
1365  LET TS$=" "
1370  GO TO 535
1375  INPUT "Ueberschreiben der Melodie in die zweite Stimme?":UE$
1380  IF UE$ ="J" THEN 1400
1385  IF UE$ ="N" THEN 1495
1390  PRINT I$ ::
1395  GO TO 1375
1400  INPUT "Versetzen der Melodie?(Kanon)":V$
1405  IF V$ ="J" THEN 1425
1410  IF V$ ="N" THEN 1430
1415  PRINT I$ ::
1420  GO TO 1400
1425  INPUT "Wie viele Tonschritte?":VS
1430  FOR Z=1 TO GR+VS
1435  IF W(Z) <>0 THEN 1445
1440  LET W(Z)=25000
1445  IF V(Z) <>0 THEN 1455
1450  LET V(Z)=25000
1455  LET V(Z+VS)=W(Z)
1460  NEXT Z
1465  FOR Z= GR+1 TO GR+VS
1470  LET DA(Z)=DA(Z–VS)
1475  NEXT Z
1480  LET Z=Z–1
1485  LET VS=∅
1490  GO TO 540
1495  INPUT "Wollen Sie mit der Klangsynthese fortsetzen?":D$
1500  IF D$ ="J" THEN 1520
1505  IF D$ ="N" THEN 1530
1510  PRINT I$ ::
1515  GO TO 1495
1520  PRINT "Legen Sie die Melodie in einer Datei ab und lesen Sie das
            Klangsyntheseprogramm ein"::
1525  GO TO 2320
1530  INPUT "Wollen Sie die Melodie in einer Datei speichern?":DS$
1535  IF DS$ ="J" THEN 2320
1540  IF DS$ ="N" THEN 1555
1545  PRINT I$ ::
1550  GO TO 1530
1555  PRINT "PROGRAMMENDE"
1560  END
```

```
1565  REM Melodieabspielprogramm
1570  INPUT "Klangregister :" K$
1575  IF K$ ="SCHWEBESOUND" THEN 2140
1580  IF K$ ="SPINETT" THEN 2175
1585  IF K$ ="TRISOUND" THEN 2225
1590  IF K$ ="ZWEIKLANG" THEN 2260
1595  PRINT "INPUT ERROR"
1600  GO TO 1570
1605  INPUT "Melodie wiederholen?":E$
1610  IF E$ ="J" THEN 1630
1615  IF E$ ="N" THEN 705
1620  PRINT I$ ::
1625  GO TO 1605
1630  INPUT "Selbes Tempo?":TE$
1635  IF TE$ ="J" THEN 1655
1640  IF TE$ ="N" THEN 575
1645  PRINT I$ ::
1650  GO TO 1630
1655  INPUT "Selber Klang?":F$
1660  IF F$ ="J" THEN 1575
1665  IF F$ ="N" THEN 1570
1670  PRINT I$ ::
1675  GO TO 1655
1680  REM Toneingabe ueber die Tastatur
1685  PRINT "Bereit"
1690  LET 0K=1
1695  LET Z=AN+1
1700  LET Z=Z-1
1705  IF Z < 0 THEN 1695
1710  CALL KEY(0,K,S)
1715  IF S=0 THEN 1710
1720  IF K=122 THEN 540
1725  IF K=113 THEN 1700
1730  IF K=49 THEN 1880
1735  IF K=50 THEN 1890
1740  IF K=51 THEN 1900
1745  IF K=48 THEN 1910
1750  IF S=-1 THEN 2115
1755  LET Z=Z+1
1760  IF Z >112 THEN 2290
1765  LEFT DA(Z)=2
1770  IF K=101 THEN 1920
1775  IF K=114 THEN 1930
170   IF K=121 THEN 1940
1785  IF K=117 THEN 1950
```

```
1790  IF K=105 THEN 1960
1795  IF K=112 THEN 1970
1800  IF K=47 THEN 1980
1805  IF K=97 THEN 1990
1810  IF K=115 THEN 2000
1815  IF K=100 THEN 2010
1820  IF K=102 THEN 2020
1825  IF K=103 THEN 2030
1830  IF K=104 THEN 2040
1835  IF K=106 THEN 2050
1840  IF K=107 THEN 2060
1845  IF K=108 THEN 2070
1850  IF K=59 THEN 2080
1855  IF K=13 THEN 2090
1860  IF K=120 THEN 2100
1865  PRINT "Falsche Taste"
1870  CALL SOUND(500,110,2)
1875  GO TO 1700
1880  LET 0K=1
1885  GO TO 1710
1890  LET 0K=2
1895  GO TO 1710
1900  LET 0K=4
1905  GO TO 1710
1910  LET 0K=0.5
1915  GO TO 1710
1920  LET W(Z)=277
1925  GO TO 2110
1930  LET W(Z)=311
1935  GO TO 2110
1940  LET W(Z)=370
1945  GO TO 2110
1950  LET W(Z)=415
1955  GO TO 2110
1960  LET W(Z)=466
1965  GO TO 2110
1970  LET W(Z)=554
1975  GO TO 2110
1980  LET W(Z)=622
1985  GO TO 2110
1990  LET W(Z)=247
1995  GO TO 2110
2000  LET W(Z)=262
2005  GO TO 2110
2010  LET W(Z)=294
```

```
2015  GO TO 2110
2020  LET W(Z)=330
2025  GO TO 2110
2030  LET W(Z)=349
2035  GO TO 2110
2040  LET W(Z)=392
2045  GO TO 2110
2050  LET W(Z)=440
2055  GO TO 2110
2060  LET W(Z)=494
2065  GO TO 2110
2070  LET W(Z)=523
2075  GO TO 2110
2080  LET W(Z)=587
2085  GO TO 2110
2090  LET W(Z)=659
2095  GO TO 2110
2100  LET W(Z)=30000
2105  GO TO 2130
2110  LET W(Z)=W(Z)*0K
2115  LET DA(Z)=DA(Z+1)
2120  CALL SOUND(-150,W(Z),2)
2125  GO TO 1710
2130  CALL SOUND(250,10000,2)
2135  GO TO 1710
2140  FOR Z=1 TO GR
2145  IF W(Z)=30000 THEN 2165
2150  CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),2W(Z)*2,2W(Z)*3,2)
2155  NEXT Z
2160  GO TO 1605
2165  CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),9)
2170  GO TO 2155
2175  FOR Z=1 TO GR
2180  IF W(Z)=30000 THEN 2215
2185  CALL SOUND(-50,W(Z),1,2*W(Z),3)
2190  CALL SOUND(-50,W(Z),4,2*W(Z),6)
2195  CALL SOUND(-40,W(Z),8,2*W(Z),12)
2200  CALL SOUND(-40,W(Z),15,2*W(Z),20)
2205  NEXT Z
2210  GO TO 1605
2215  CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),9)
2220  GO TO 2205
2225  FOR Z=1 TO GR
2230  IF W(Z)=30000 THEN 2250
2235  CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),2,3*W(Z),3,5*W(Z),3)
```

```
2240  NEXT Z
2245  GO TO 1605
2250  CALL SOUND(DA(Z)+TE,W(Z),9)
2255  GO TO 2240
2260  FOR Z=1 TO GR
2265  IF V(Z)<>0 THEN 2275
2270  LET V(Z)=25000
2275  CALL SOUND(DA(Z)*TE,W(Z),2,V(Z),2)
2280  NEXT Z
2285  GO TO 1605
2290  INPUT "Tonspeicher voll
            Ablegen in einer Datei?":DT$
2295  LET GR=Z
2300  IF DT$ ="J" THEN 2320
2305  IF DT$ ="N" THEN 540
2310  PRINT I$ ::
2315  GO TO 2290
2320  INPUT "Auf welcher Datei (Nummer)?":DN
2325  OPEN #DN:"CS1",INTERNAL,OUTPUT,FIXED 128
2330  FOR Z=1 TO 125 STEP 4
2335  PRINT #DN:W(Z),V(Z),DA(Z),W(Z+1),V(Z+1),DA(Z+1),W(Z+2),V(Z+2),
          DA(Z+2),W(Z+3),V(Z+3),DA(Z+3)
2340  NEXT Z
2345  CLOSE #DN
2350  PRINT "Melodie abgelegt"
2355  GO TO 745
2360  INPUT "Dateinummer=":DN
2365  OPEN #DN:"CS1",INTERNAL,INPUT,FIXED 128
2370  FOR Z=1 TO 125 STEP 4
2375  INPUT #DN:W(Z),V(Z),DA(Z),W(Z+1),V(Z+1),DA(Z+1),W(Z+2),V(Z+2),
          DA(Z+2),W(Z+3),V(Z+3),DA(Z+3)
2380  NEXT Z
2385  CLOSE #DN
2390  FOR Z=1 TO 128
2395  IF DA(Z)=0 THEN 2405
2400  NEXT Z
2405  LET Z=Z-1
2410  GO TO 540
```

4 Melodieabspielprogramm für konstante Töne

4.1 Aufgabenstellung

Das Melodieabspielprogramm muß drei Funktionen erfüllen:

1. Es muß die Daten für die Register und Melodien aufnehmen und speichern.
2. Es muß die zum Abspielen der Melodie nötigen Zusatzinformationen (Sequenz der Melodien, Tempo, Register und Zeitpunkt des Startes) vom Programmanwender erfragen.
3. Es muß die einzelnen Melodien in der eingegebenen Sequenz und im Klang des momentan gerade eingegebenen Registers über eine Klangschleife, unter Berücksichtigung aller Pausen, im gewünschten Tempo abspielen.

4.2 Datenspeicherung

Damit eine möglichst lange Melodie gespeichert werden kann, sollte das Programm selbst nicht allzu lang sein und nur wenig Speicherplatz beanspruchen. Das im folgenden beschriebene Programm (**Flußdiagramm 4.1**) bietet (bei einer Zugrundelegung von 16 Kbyte Speicherplatz) die Möglichkeit, 10 Register und drei Melodien mit maximal 384 Tönen zu speichern. Das Einlesen der Daten erfolgt auf dieselbe Weise wie zuvor das Ablegen der Daten in der Datei, mit dem Unterschied, daß die PRINT-Statements durch INPUT-Statements ersetzt werden.

4.3 Abfragen der Zusatzinformationen

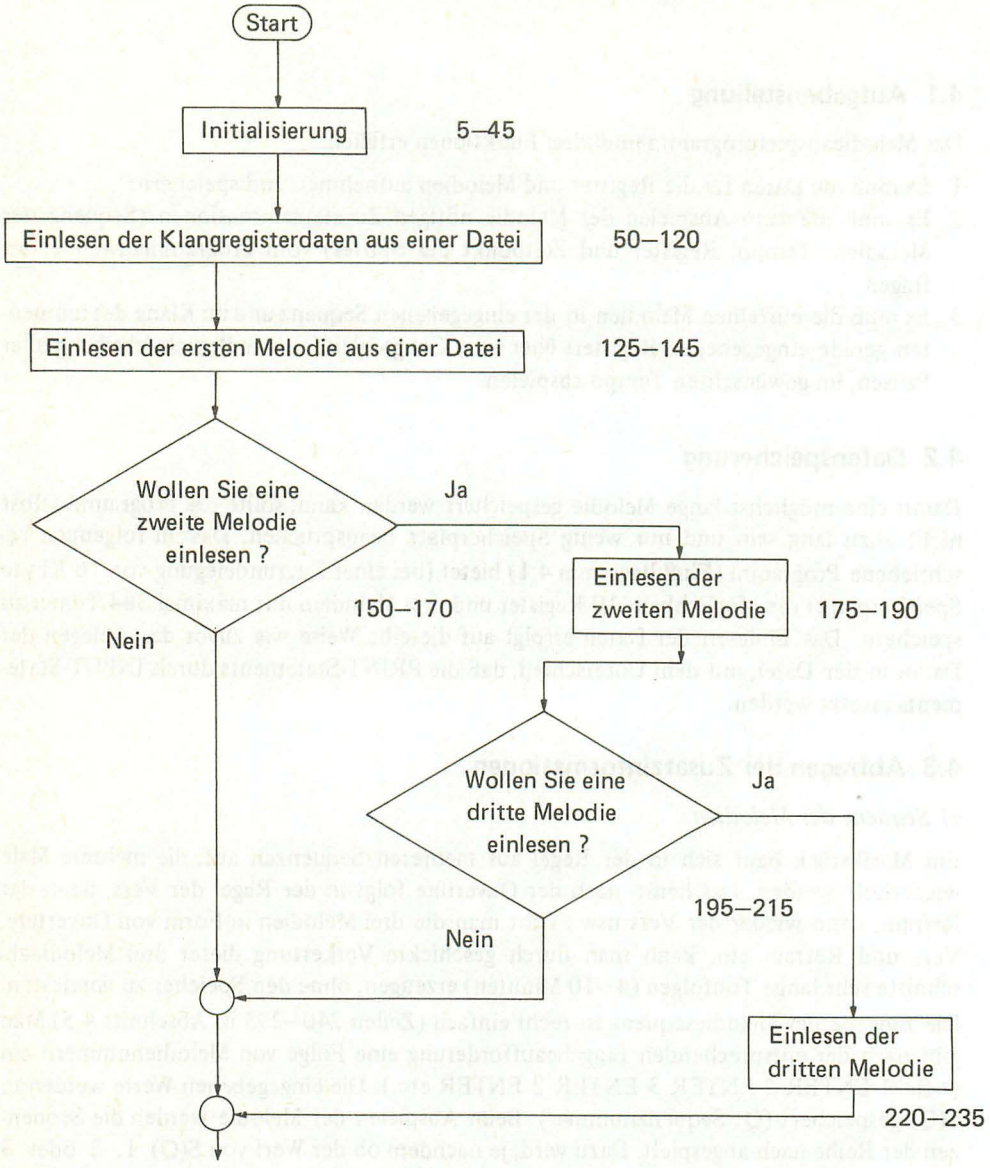
a) Sequenz der Melodien

Ein Musikstück baut sich in der Regel aus mehreren Sequenzen auf, die mehrere Male wiederholt werden. Das heißt, nach der Ouvertüre folgt in der Regel der Vers, dann der Refrain, dann wieder der Vers usw.. Gibt man die drei Melodien in Form von Ouvertüre, Vers und Refrain ein, kann man durch geschickte Verkettung dieser drei Melodieabschnitte sehr lange Tonfolgen (4–10 Minuten) erzeugen, ohne den Speicher zu überlasten.

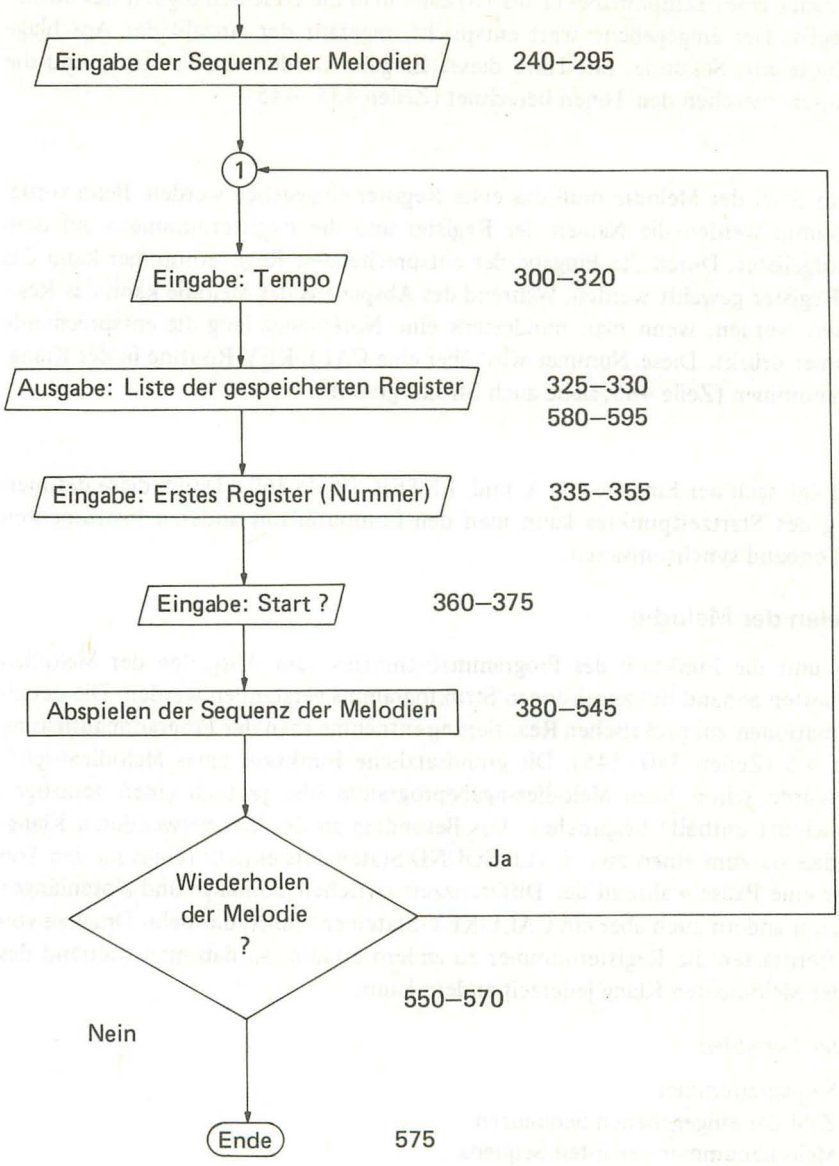
Die Eingabe der Melodiesequenz ist recht einfach (Zeilen 240–295 in Abschnitt 4.5) Man gibt nach der entsprechenden Eingabeaufforderung eine Folge von Melodienummern ein (z.B. 1 ENTER 2 ENTER 3 ENTER 2 ENTER etc.). Die eingegebenen Werte werden in S(Q) gespeichert (Q: Sequenznummer). Beim Abspielen der Melodie werden die Sequenzen der Reihe nach abgespielt. Dazu wird, je nachdem ob der Wert von S(Q) 1, 2 oder 3 ist, die untere (UG) und obere (OG) Grenze des Tonzählers Z auf die Anfangs- bzw. Endwerte der 1., 2. oder 3. Melodie gesetzt und somit die Tonfolge der 1., 2. oder 3. Melodie in der Klangschleife (Zeile 450) abgespielt. Es ist möglich, maximal 24 Sequenzen einzugeben. Damit lassen sich maximal 24 x 128 = 3072 Töne (ca. 10–15 Minuten) abspielen.

Flußdiagramm 4.1

Melodieabspielprogramm für konstante Töne



Fortsetzung Flußdiagramm 4.1



b) Tempo

Durch die Eingabe eines Tempomaßes (1 bis 16) kann man die Geschwindigkeit des Musikstückes festlegen. Der eingegebene Wert entspricht ungefähr der Anzahl der Anschläge einer Viertelnote pro Sekunde. Mit Hilfe dieser Eingabe werden die Tondauer und die Dauer der Pausen zwischen den Tönen berechnet (Zeilen 435–445).

c) Register

Noch vor dem Start der Melodie muß das erste Register eingegeben werden. Beim vorliegenden Programm werden die Namen der Register und die Registernummern auf dem Bildschirm aufgelistet. Durch die Eingabe der entsprechenden Registernummer kann das gewünschte Register gewählt werden. Während des Abspielens der Melodie kann das Register gewechselt werden, wenn man mindestens eine Notenlänge lang die entsprechende Registernummer drückt. Diese Nummer wird über eine CALL-KEY-Routine in der Klangschleife aufgenommen (Zeile 485; siehe auch Struktogramm).

d) Start

Der Start erfolgt nach der Eingabe von s und ENTER (Zeile 360). Durch diese definierte Festlegung des Startzeitpunktes kann man den Computer mit anderen Instrumenten oder einem Tonband synchronisieren.

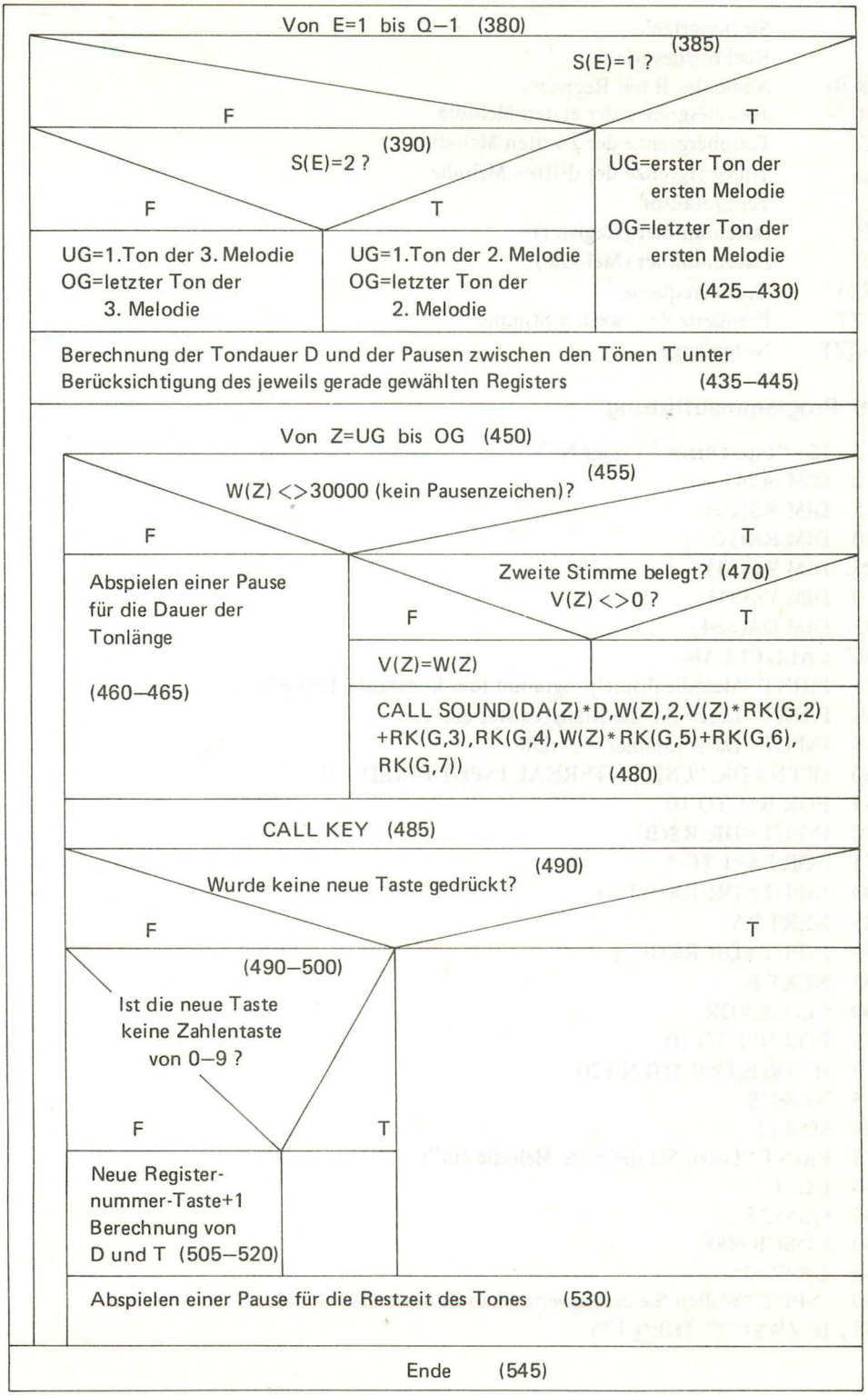
4.4 Abspielen der Melodie

Der Aufbau und die Funktion des Programmabschnittes zum Abspielen der Melodien können am besten anhand des zugehörigen Struktogramms verstanden werden. Die detaillierten Informationen zur praktischen Realisierung entnehme man der Programmauflistung in Abschnitt 4.5 (Zeilen 380–545). Die grundsätzliche Funktion eines Melodieabspielprogramms wurde schon beim Melodieeingabeprogramm (das ja auch einen derartigen Programmabschnitt enthält) besprochen. Das Besondere an der hier verwendeten Klangschleife ist, daß sie zum einen zwei CALL-SOUND-Statements enthält (eines für den Ton und eines für eine Pause während der Differenzzeit zwischen Tonlänge und Notenlänge), und daß sie zum andern auch über ein CALL-KEY-Statement führt, das beim Drücken von einer der Zifferntasten die Registernummer zu ändern erlaubt, so daß man während des Abspielens der Melodie den Klang jederzeit ändern kann.

Bedeutung der Variablen

E	Sequenznummer
Q-1	Zahl der eingegebenen Sequenzen
S(E)	Melodienummer der E-ten Sequenz
UG	Untere Grenze der Tonzählernummer (Beginn der Melodie)
OG	Obere Grenze der Tonzählernummer (Ende der Melodie)
Z	Tonzählernummer
D	Tondauer
T	Dauer der Pause zwischen zwei Tönen
M	maximale Registernummer
G	Registernummer
RK(G,X)	X-ter Parameter des G-ten Registers

Struktogramm: Abspielen der Sequenz der Melodien (In Klammern die Zeilen-Nr.)



U	Statusvariable
K	Rückmeldevariable
R$(B)	Name des B-ten Registers
GR	Tonobergrenze der ersten Melodie
GZ	Tonobergrenze der zweiten Melodie
GD	Tonobergrenze der dritten Melodie
TE	Tempofaktor
DR	Dateinummer (Register)
DN	Dateinummer (Melodie)
W(Z)	Grundfrequenz
V(Z)	Frequenz der zweiten Stimme
DA(Z)	Notenlänge

4.5 Programmauflistung

```
  5 I$= "Input error ! J oder N "
 10 DIM S(24)
 15 DIM R$(10)
 20 DIM RK(10,7)
 25 DIM W(384)
 30 DIM V(384)
 35 DIM DA(384)
 40 CALL CLEAR
 45 PRINT "Melodieabspielprogramm fuer konstante Toene":::::
 50 PRINT "Lesen Sie die Klangregister ein":::
 55 INPUT "Dateinummer = ?":DR
 60 OPEN #DR: "CS1",INTERNAL,INPUT,FIXED 192
 65 FOR B=1 TO 10
 70 INPUT #DR:R$(B),
 75 FOR PA=1 TO 6
 80 INPUT #DR:RK(B,PA)
 85 NEXT PA
 90 INPUT #DR:RK(B,7)
 95 NEXT B
100 CLOSE #DR
105 FOR B=1 TO 10
110 IF RK(B,1)=0 THEN 120
115 NEXT B
120 M=B-1
125 PRINT "Lesen Sie die erste Melodie ein":::
130 UG=1
135 OG=125
140 GOSUB 600
145 GR=Z-1
150 INPUT "Wollen Sie eine zweite Melodie einlesen?":ZW$
155 IF ZW$="J" THEN 175
```

```
160 IF ZW$="N" THEN 240
165 PRINT I$ :::
170 GO TO 150
175 UG=GR+1
180 OG=GR+126
185 GOSUB 600
190 GZ=Z-1
195 INPUT "Wollen Sie eine dritte Melodie eingeben?":MD$
200 IF MD$="J" THEN 220
205 IF MD$="N" THEN 240
210 PRINT I$ :::
215 GO TO 195
220 UG=GZ+1
225 OG=GZ+126
230 GOSUB 600
235 GD=Z-1
240 PRINT "Geben Sie die Sequenz der Melodien ein
          (1,2,1,3 etc. und 0 fuer das Ende)":::
245 Q=0
250 Q=Q+1
255 IF Q>24 THEN 295
260 INPUT S(Q)
265 IF S(Q)=1 THEN 250
270 IF S(Q)=2 THEN 250
275 IF S(Q)=3 THEN 250
280 IF S(Q)=0 THEN 300
285 PRINT "Input error ! 1,2,3 oder 0":::
290 GO TO 260
295 PRINT "Sequenzspeicher voll":::::
300 INPUT "Tempo=":TE
305 IF TE<1 THEN 315
310 IF TE<16 THEN 325
315 PRINT "Input error ! Wert zwischen 1 und 16 eingeben!":::
320 GO TO 300
325 PRINT "Es sind folgende Register im Speicher:"
330 GOSUB 580
335 INPUT "Erstes Register eingeben ! ":G
340 IF G<1 THEN 350
345 IF G<M THEN 360
350 PRINT "Input error ! Werte zwischen 1 und ";M;" eingeben":::
355 GO TO 335
360 INPUT "Start ?":S$
365 IF S$="s" THEN 380
370 PRINT "s druecken !":::
375 GO TO 360
```

```
380 FOR E=1 TO Q-1
385 IF S(E)=1 THEN 425
390 IF S(E)=2 THEN 410
395 UG=GZ+1
400 OG=GD
405 GO TO 435
410 UG=GR+1
415 OG=GZ
420 GO TO 435
425 UG=1
430 OG=GR
435 D=RK(G,1)*200/TE
440 T=(1.1-RK(G,1))*200/TE-30
445 T=(ABS(T)+T)/2+1
450 FOR Z=UG TO OG
455 IF W(Z)<>30000 THEN 470
460 CALL SOUND(DA(Z)*D,W(Z),30)
465 GO TO 485
470 IF V(Z)<>0 THEN 480
475 V(Z)=W(Z)
480 CALL SOUND(DA(Z)*D,W(Z),2,V(Z)*RK(G,2)+RK(G,3),RK(G,4),
                W(Z)*RK(G,5)+RK(G,6),RK(G,7))
485 CALL KEY(0,K,U)
490 IF U<1 THEN 525
495 IF K<48 THEN 525
500 IF K>47+M THEN 525
505 G=K-47
510 D=RK(G,1)*200/TE
515 T=(1.1-RK(G,1))*200/TE-30
520 T=(ABS(T)+T)/2+1
525 IF RK(G,1)=1 THEN 535
530 CALL SOUND(DA(Z)*T,30000,30)
535 NEXT Z
540 NEXT E
545 PRINT "Ende":::::
550 INPUT "Wiederholen der Melodie ?":MW$
555 IF MW$="J" THEN 300
560 IF MW$="N" THEN 575
565 PRINT I$ :::
570 GO TO 550
575 END
580 FOR B=1 TO M
585 PRINT R$(B),B-1
590 NEXT B
595 RETURN
```

```
600  INPUT "Dateinummer =?":DN
605  OPEN#DN:"CS1",INTERNAL,INPUT,FIXED 128
610  FOR Z=UG TO OG STEP 4
615  INPUT#DN:W(Z),V(Z),DA(Z),W(Z+1),V(Z+1),DA(Z+1),
          W(Z+2),V(Z+2),DA(Z+2),W(Z+3),V(Z+3,DA(Z+3)
620  NEXT Z
625  CLOSE#DN
630  FOR Z=1 TO 128
635  IF DA(Z)=0 THEN 645
640  NEXT Z
645  RETURN
```

5 Melodieabspielprogramm für variable Töne

Grundsätzlich muß das Melodieabspielprogramm für variable Töne die gleichen Aufgaben erfüllen, wie das für die konstanten Töne. Die Daten für die Register und Melodien müssen aufgenommen, die Sequenz der Melodie, das Tempo und der Startzeitpunkt festgelegt werden.

Es tritt jedoch noch ein zusätzliches Problem auf. Während zum Abspielen eines konstanten Tones nur zwei CALL-SOUND-Anweisungen (eine für den Ton und eine für die Pause zwischen zwei Tönen) aufgerufen werden mußten, sollten beim Abspielen eines variablen Tones möglichst viele CALL-SOUND-Statements der Klangschleife aufgerufen werden, damit der Klang möglichst oft und rasch angepaßt werden kann. Daher sollte man alle Berechnungen innerhalb einer CALL-SOUND-Anweisung vermeiden, um die Durchführung nicht in die Länge zu ziehen. Die Ausführung einer CALL-SOUND-Anweisung mit drei Tönen ohne Berechnungen dauert ca. eine achtel Sekunde. Dies ist gerade noch vertretbar. (Die Zeit, die zur Ausführung der Schleifenanweisung nötig ist, ist mit ca. 3 ms vernachlässigbar.)

Aus diesen Gründen ist es notwendig, alle Werte für die Tonlänge (Zeilen 435–490) und Frequenzen (Zeilen 495–525) vor dem Abspielen der Melodie auszurechnen, so daß anschließend nur die Werte der Variablen in die CALL-SOUND-Anweisung eingesetzt werden müssen.

Ein zweites Problem, das sich hier ebenfalls stellt, ist, daß die Tondauer primär ein ganzzahliges Vielfaches der Zeit für einen Schleifendurchlauf ist. Man kann daher zunächst nicht jedes gewünschte Tempo realisieren. Wenn man jedoch der Klangschleife (siehe Struktogramm) eine Schleife ohne Inhalt nachschaltet, deren Durchlaufgeschwindigkeit 3 ms ist, kann man dadurch den Beginn des nächsten Tons um ein ganzzahliges Vielfaches von 3 ms hinauszögern und somit die Geschwindigkeit sehr viel feiner regulieren. Da die CALL-SOUND-Statements eine negative Tondauer (–200) enthalten, klingt der jeweils zuletzt eingestellte Klang während dieser „Restzeit" bis zum Eintreffen des nächsten Tons noch nach. Auch die Zahl der Restzeitschleifendurchläufe wird vor dem Abspielen der Melodie (Zeilen 435–465) als Funktion der Zahl der Klangschleifendurchläufe (DA(Z)) und des eingegebenen Tempos der I-ten Melodie berechnet.

5.1 Besonderheiten des Programms

Um Speicherplatz zu sparen, wird der Inhalt von V(Z) und DA(Z) während des Programms geändert. V(Z) erhält, sofern keine zweistimmige Melodie eingegeben wurde, die Werte der 2. Tonfrequenz. In DA(Z) werden, nach der Eingabe der Tempi für die verschiedenen Melodien, die berechneten Werte für die Anzahl der Klangschleifendurchläufe gespeichert.

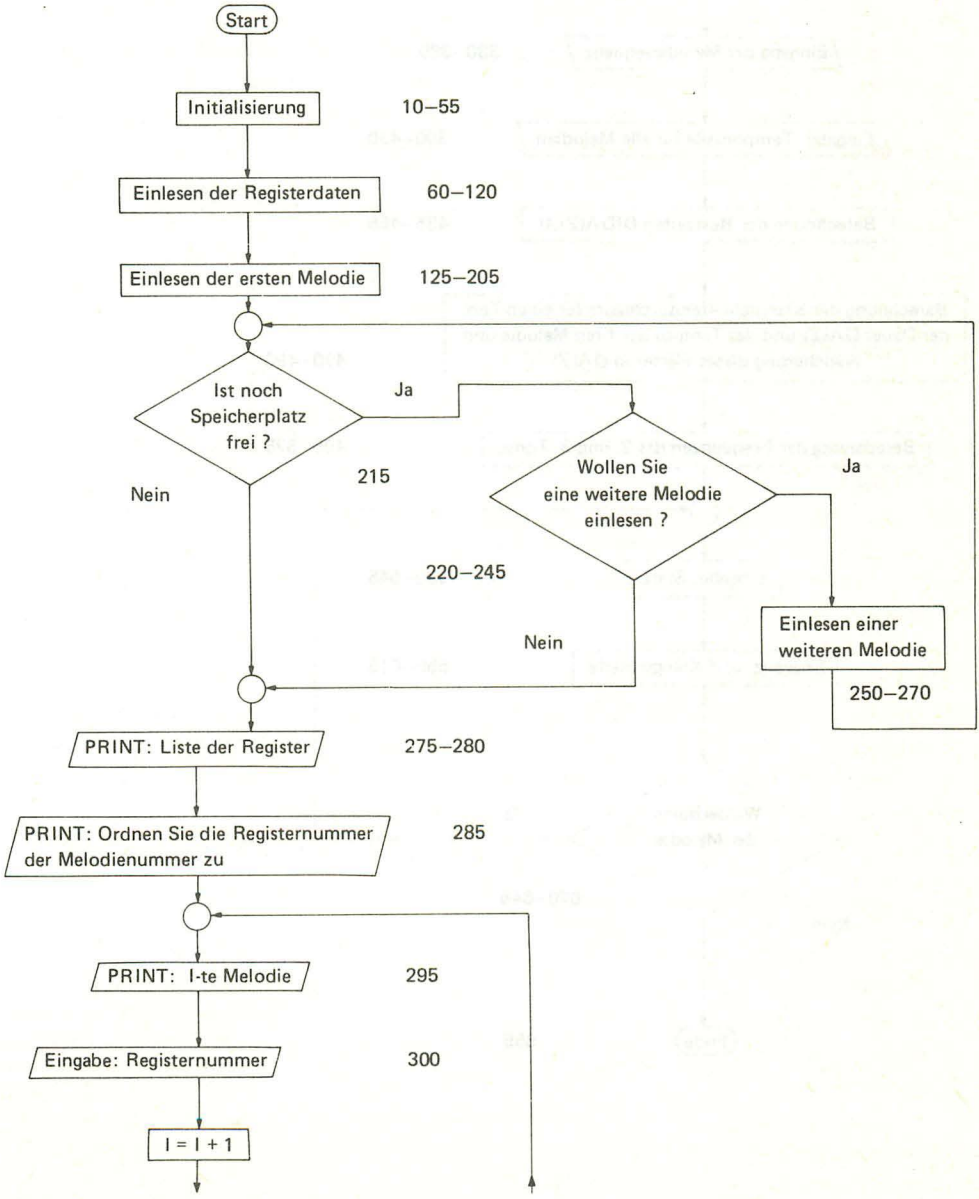
Es können nicht nur drei, sondern maximal 10 Melodien gespeichert werden, sofern ein Gesamtspeicherplatz von 240 Tönen nicht überschritten wird und vor der Eingabe der letzten Melodie noch 128 Speicherplätze frei sind.

Es kann für jede Melodie ein eigenes Tempo gewählt werden. Die maximale Anzahl der Sequenzen beträgt 10 und die maximale Zahl der Register beschränkt sich auf zwei.

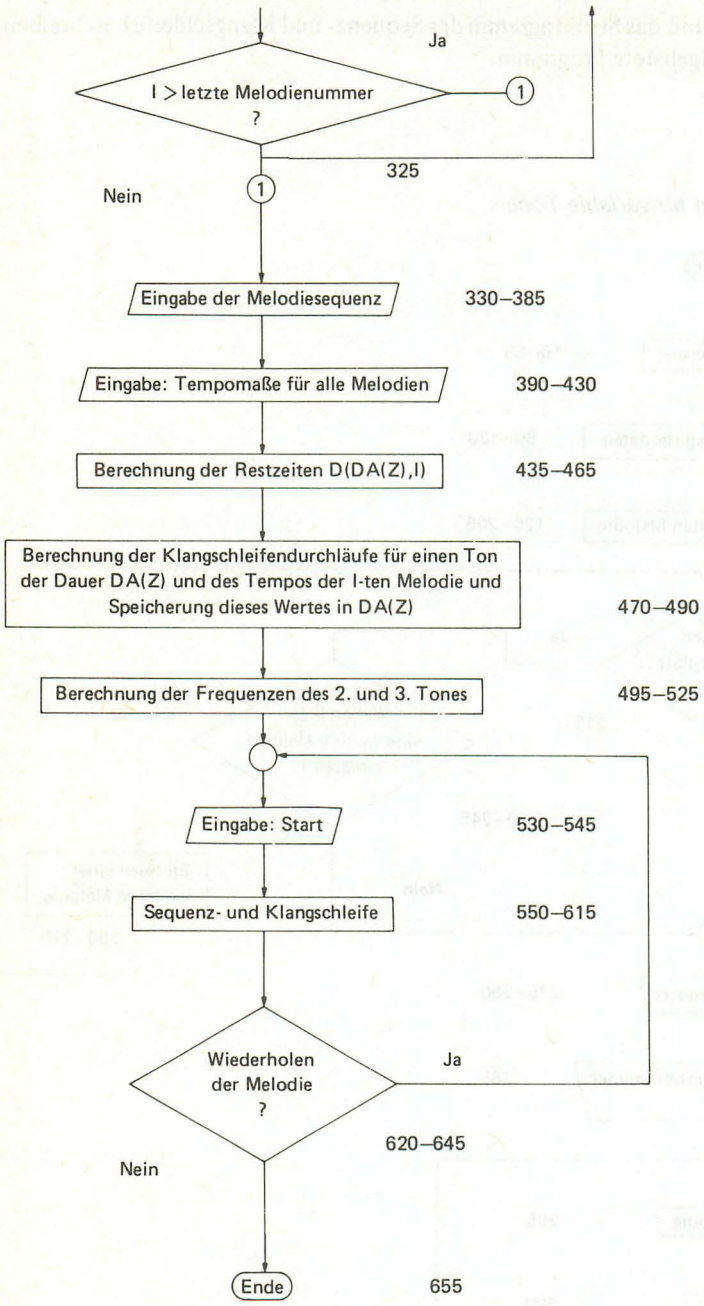
Das **Flußdiagramm 5.1** und das Struktogramm der Sequenz- und Klangschleife beschreiben das in Abschnitt 5.2 aufgelistete Programm.

Flußdiagramm 5.1

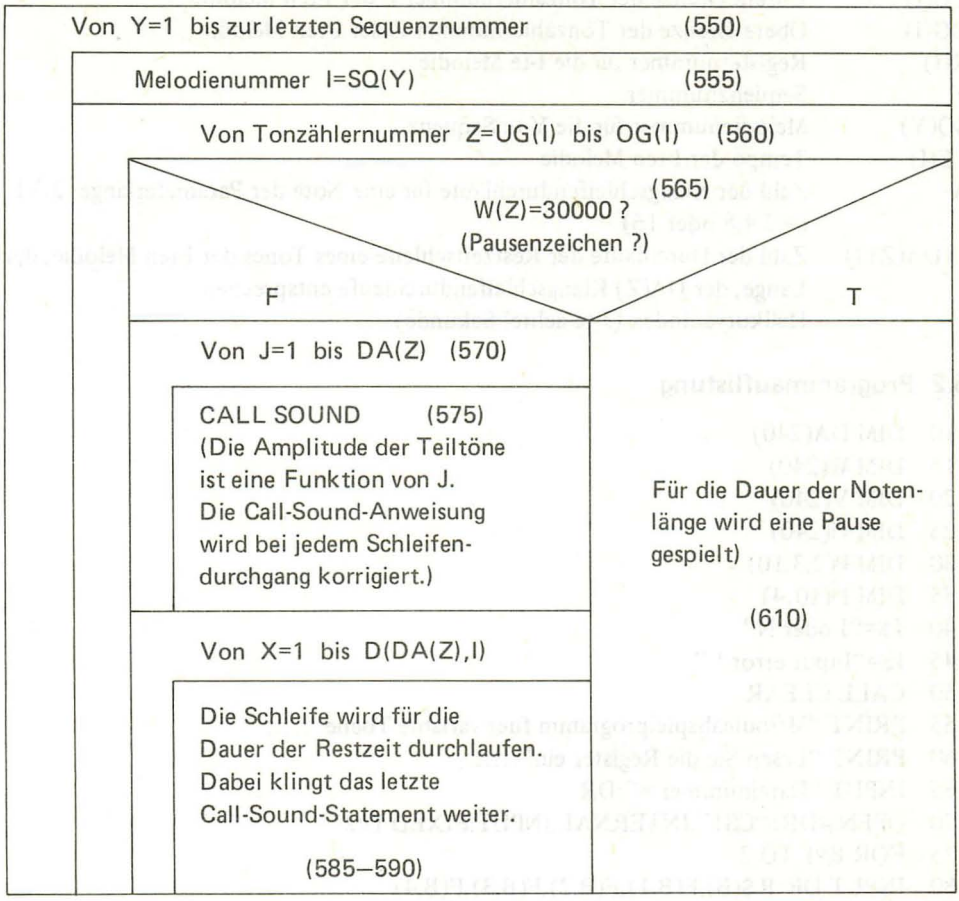
Melodieabspielprogramm für variable Töne



Fortsetzung Flußdiagramm 5.1



Struktogramm der Sequenz- und Klangschleife



Bedeutung der Variablen

DA(Z)	Tondauer
W(Z)	Grundfrequenz
V(Z)	Frequenz der zweiten Stimme
U(Z)	3. Frequenz
P(B,Y,J)	Hüllkurvenparameter des Registers B, für den Y-ten Ton, in der J-ten achtel Sekunde
B	Registernummer
R$(B)	Registernamen
F(B,1)	relative Frequenz des 2. Tones
F(B,2)	Schwebungsinkrement des 2. Tones
F(B,3)	relative Frequenz des 3. Tones
F(B,4)	Schwebungsinkrement des 3. Tones

I	Melodienummer
UG(I)	Untere Grenze der Tonzählernummer Z der I-ten Melodie
OG(I)	Obere Grenze der Tonzählernummer Z der I-ten Melodie
R(I)	Registernummer für die I-te Melodie
Y	Sequenznummer
SQ(Y)	Melodienummer für die Y-te Sequenz
TE(I)	Tempo der I-ten Melodie
A	Zahl der Klangschleifendurchläufe für eine Note der Parameterlänge 2∧L (= 2,4,8 oder 16)
D(DA(Z),I)	Zahl der Durchläufe der Restzeitschleife eines Tones der I-ten Melodie, der Länge, der DA(Z) Klangschleifendurchläufe entsprechen
J	Hüllkurvenindex (J-te achtel Sekunde)

5.2 Programmauflistung

```
 10 DIM DA(240)
 15 DIM W(240)
 20 DIM V(240)
 25 DIM U(240)
 30 DIM P(2,3,10)
 35 DIM D(10,4)
 40 J$="J oder N"
 45 I$="Input error ! "
 50 CALL CLEAR
 55 PRINT "Melodieabspielprogramm fuer variable Toene":::::
 60 PRINT "Lesen Sie die Register ein":::::
 65 INPUT "Dateinummer =":DR
 70 OPEN #DR: "CS1",INTERNAL,INPUT,FIXED 192
 75 FOR B=1 TO 2
 80 INPUT DR:R$(B),F(B,1),F(B,2),F(B,3),F(B,4)
 85 FOR Y=1 TO 3
 90 FOR J=1 TO 9
 95 INPUT #DR:P(B,Y,J)
100 NEXT J
105 INPUT #DR:P(B,Y,10)
110 NEXT Y
115 NEXT B
120 CLOSE #DR
125 PRINT "Lesen Sie die erste Melodie ein":::::
130 I=1
135 UG(I)=1
140 OG(I)=125
145 GOSUB 160
150 OG(I)=Z-1
155 GO TO 210
160 INPUT "Dateinummer =":DN
```

```
165 OPEN#DN:"CS1",INTERNAL,INPUT,FIXED 128
170 FOR Z=UG(I) TO UG(I) STEP 4
175 INPUT#DN:W(Z),V(Z),DA(Z),W(Z+1),V(Z+1),DA(Z+1),W(Z+2),V(Z+2),DA(Z+2),
          W(Z+3),V(Z+3),DA(Z+3)
180 NEXT Z
185 CLOSE#DN
190 FOR Z=UG(I) TO OG(I)+3
195 IF DA(Z)=0 THEN 205
200 NEXT Z
205 RETURN
210 I=I+1
215 IF 240-OG(I-1)<128 THEN 275
220 PRINT "Wollen Sie eine "I;"-te Melodie einlesen ?":::
225 INPUT Z$(I)
230 IF Z$(I)="J" THEN 250
235 IF Z$(I)=NN' THEN 275
240 PRINT I$&J$:::
245 GO TO 225
250 UG(I)=OG(I-1)+1
255 OG(I)=UG(I)+124
260 GOSUB 160
265 OG(I)=Z-1
270 GO TO 210
275 PRINT "Es sind folgende Register gespeichert :":::::
280 PRINT R$(1),1:::R$(2),2:::::
285 PRINT "Ordnen Sie die Registernummer der Melodienummer zu":::
290 FOR I=1 TO I-1
295 PRINT I;"-te Melodie:":
300 INPUT "Registernummer =":R(I)
305 IF R(I)=1 THEN 325
310 IF R(I)=2 THEN 325
315 PRINT "I$:"1 oder 2":::
320 GO TO 300
325 NEXT I
330 PRINT "Geben Sie die Melodiesequenz ein (1,1,2,3,1 etc. und 0 fuer Ende)":::
335 Y=0
340 Y=Y+1
345 IF Y>10 THEN 385
350 INPUT SQ(Y)
355 IF SQ(Y)=0 THEN 390
360 FOR H=1 TO I-1
365 IF SQ(Y)=H THEN 340
370 NEXT H
375 PRINT I$;"Wert von 0 bis ";I-1;" eingeben ":::::
380 GO TO 350
```

```
385 PRINT "Sequenzspeicher voll":::::
390 PRINT "Tempoeingabe :"::
395 FOR I=1 TO I-1
400 PRINT I; "-te Melodie :":
405 INPUT TE(I)
410 IF TE(I)<1 THEN 420
415 IF TE(I)<=8 THEN 430
420 PRINT I$:"Wert zwischen 1 und 8 eingeben !":::
425 GO TO 405
430 NEXT I
435 FOR I=1 TO I-1
440 FOR L=1 TO 4
445 DU=250/TE(I)*2^L
450 A=INT(DU/125)
455 D(A,I)=(DU-10-A*125)/3
460 NEXT L
465 NEXT I
470 FOR I=1 TO I-1
475 FOR Z=UG(I) TO OG(I)
480 DA(Z)=INT(DA(Z)*250/TE(I)/125)
485 NEXT Z
490 NEXT I
495 FOR I=1 TO I-1
500 FOR Z= UG(I) TO OG(I)
505 IF V(Z)<>0 THEN 515
510 V(Z)=W(Z)*F(R(I),1)+F(R(I),2)
515 U(Z)=W(Z)*F(R(I),3)+F(R(I),4)
520 NEXT Z
525 NEXT I
530 INPUT "Start ?":S$
535 IF S$="s" THEN 550
540 PRINT "s druecken !"::
545 GO TO 530
550 FOR Y=1 TO Y-1
555 I=SQ(Y)
560 FOR Z=UG(I) TO OG(I)
565 IF W(Z)=30000 THEN 610
570 FOR J=1 TO DA(Z)
575 CALL SOUND(-200,W(Z),P(R(I),1,J),V(Z),P(R(I),2,J),U(Z),P(R(I),3,J))
580 NEXT J
585 FOR X=1 TO D(DA(Z),I)
590 NEXT X
595 NEXT Z
600 NEXT Y
605 GO TO 620
```

```
610  CALL SOUND(DA(Z)+D(DA(Z),I)*3,W(Z),30)
615  GO TO 595
620  PRINT "Wiederholen der Melodie ?":
625  INPUT WM$
630  IF WM$="J" THEN 530
635  IF WM$="N" THEN 650
640  PRINT I$&J$:::
645  GO TO 625
650  PRINT "Ende":::::
655  END
```

6 Verbesserung des Klangs durch Effektgeräte

Mit den bisher beschriebenen Programmen ist der Computer schon ein seriöses Musikinstrument, das sich in der Klangqualität mit den meisten herkömmlichen Instrumenten messen kann und bezüglich der Variationsmöglichkeiten des Klangs beinahe alle Instrumente (wenn man von der Orgel und dem Synthesizer absieht) übertrifft. Trotzdem kann man dem Computer noch keine professionellen Synthesizerklänge entlocken. Dies liegt jedoch nicht an der primären Struktur der vom Computer erzeugten Klänge; im Gegenteil, die drei vom Computergenerator erzeugten Wellen lassen sich leicht und genau mit jeder beliebigen Relativfrequenz aufeinander abstimmen, was bei den gewöhnlichen Synthesizern verwendeten Sägezahn- und Rechteckgeneratoren nur mit Mühe gelingt. Was jedoch dem Computer in der bisher vorliegenden Form fehlt, ist die Bearbeitung des erzeugten Klangs durch Effektgeräte. Erst durch Nachhall, Phasereffekte, Amplitudenmodulation, VCF und Filtereffekte erhält der Sound seinen letzten Schliff.

Man kann nun jedoch den vom Computer erzeugten Klang auch der Ohrhörerbuchse des Fernsehgeräts entnehmen, durch die genannten Effektgeräte leiten und über einen Lautsprecher abstrahlen. Das Resultat: ein Klang, der sich mit jedem durchschnittlichen Kleinsynthesizersound messen kann (**Bild 10**).

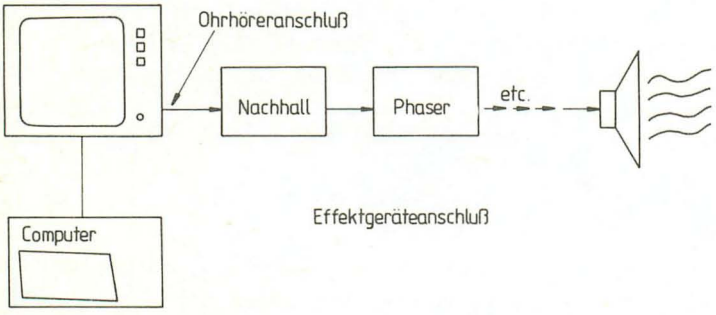


Bild 10
Anschluß der Effektgeräte

6.1 Effektgerätemodule

Da sich die Mehrheit der Leser wohl nicht die vielen Effektgeräte beschaffen wird, sollen sie für den interessierten kleineren Leserkreis nur kurz in ihrer Funktion beschrieben werden. Nähere Details zu diesem Thema kann man Büchern über Musikelektronik entnehmen.

Höhen-/Tiefenregler

Das einfachste „Effektgerät" besitzen Sie schon in Ihrem Fernsehgerät: den Höhen-/Tiefenregler. Mit seiner Hilfe kann man schon recht beachtliche Änderungen des Klangcharakters erreichen. Besonders interessant ist der dynamische Einsatz dieses Filters.

Wenn man, während die Melodie abgespielt wird, den Drehknopf dieses Filters von Tief zu Hoch dreht (im Verlauf von ca. 0,5–1 Sekunde), so entsteht ein sogenannter Wah-Effekt, d.h. ein Klangeindruck, der an die langsam gesprochene Silbe „Wah" erinnert. Die umgekehrte Drehrichtung führt zu einem Jau-Effekt. (Bei Synthesizern werden diese Effekte automatisch bei jedem neuen Toneinsatz erzeugt.) Dreht man das Potentiometer rasch hin und her, so entsteht ein Klangfarbenvibrato.

Equalizer

Der Equalizer ist ein wesentlich anspruchsvolleres Filtersystem. Bei diesem Gerät wird der gesamte Hörbereich in mehrere (4–8) Frequenzbänder aufgeteilt. Je nach den eingestellten Potentiometerstellungen werden die Tonsignale in den einzelnen Frequenzbändern in ihrer Intensität angehoben oder gedämpft. Auf diese Weise läßt sich die Klangfarbe sehr fein nuanciert abstimmen.

Nachhall

Es gibt seit einigen Jahren die Möglichkeit, den Nachhall künstlich mit relativ einfachen elektronischen Mitteln zu erzeugen. Durch das Hinzufügen eines Nachhalleffekts wird dem synthetischen Klang die zu künstlich klingende Reinheit genommen. Der Sound wird verwaschen und füllig. Er baut sich erst nach einer kleinen zeitlichen Verzögerung auf und schwillt nach dem Ende des Eingangstones erst langsam wieder ab. Dies alles führt dazu, daß ein mit Nachhalleffekt behandelter Ton einen plastischen, raumerfüllten Klang erhält.

Phaser

Phaser dienen zur Erzeugung von Dopplereffekten und Klangfarbenvariationen. Dazu wird das Eingangstonsignal in seiner Phasenlage verschoben und mit dem nicht-phasenverschobenen Eingangstonsignal überlagert. Es kommt dabei zu Interferenzeffekten, die eine unterschiedlich starke Auslöschung der einzelnen Obertöne bewirken. Die Folge ist eine Änderung des Oberwellenspektrums und somit auch eine Änderung der Klangfarbe. Da sich die Phasenverschiebung elektronisch steuern läßt, kann man auf diesem Weg sehr komplexe Klangfarbenspiele erzeugen.

Amplitudenmodulation

Modulatoren sind Geräte, mit deren Hilfe man die Lautstärke elektronisch steuern kann. Verwendet man als Steuersignal eine langsame (3–8 Hz) Schwingung, so entsteht ein Amplitudenvibrato (Tremolo). Setzt man hingegen ein aperiodisches Steuersignal mit dem Verlauf einer Hüllkurve ein, so kann man dadurch einem konstanten Eingangston eine Hüllkurve aufprägen.

VCF

VCF ist die Abkürzung für *Voltage Controlled Filter*. Das heißt, es handelt sich um Filter, deren Frequenzcharakteristika durch Steuersignale variiert werden können. Auch durch diese Geräte kann man die Klangfarbe zeitlich verändern.

Literatur

Aigner, Markus: Format-Musik-Syntheziser Erweiterungen, Elektor-Verlag
Busch, Rudolf: BASIC für Einsteiger, Franzis-Verlag
Capman, Cyrill: Format-Musik-Syntheziser, Elektor-Verlag
Diefenbach, Werner: Tonband-Hobby, Pflaum-Verlag
Gehrer, Eugen: Hobby-Musikelektronik, Pflaum-Verlag
Schneider, Wolfgang: Einführung in BASIC, Verlag Vieweg
Schneider, Wolfgang: BASIC für Fortgeschrittene, Verlag Vieweg
Wuschek, Alois: Kleines ABC der Elektronik-Orgel, Franzis-Verlag

Sachwortverzeichnis

Amplitude 6
Amplitudenmodulation 87

Contracussion 17

Dämpfungsphase 17
Datei 36

Effektgeräte 86
Einschwingphase 17
Equalizer 87

Frequenz 1
Frequenzspektrum 7

Grundfrequenz 6

Haltephase 17
Hüllkurve 16

Klangfarbe 3
Klangregister 44
Klangschleife 3
Klangsyntheseprogramm 3
Klangverlauf 19

Lautstärke 2

Melodieeingabe 36
Modulation 8

Nachhall 87
Noise 1
Normierung 41

Obertonspektrum 9
Oktave 40

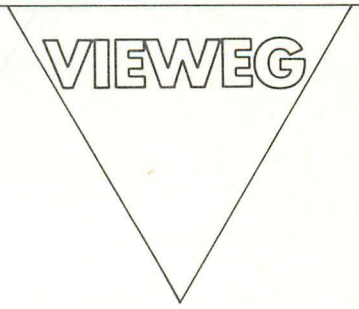
Pause 40
Parameter 9
Percussion 17
Phraser 87

Rauschen 1
Register 72
Rechteckschwingung 7

Schwebungsfrequenz 8
Sequenz 69
Standardhüllkurve 18
Sustain 17

Tastatur 47
Tastverhältnis 6
Tempo 72
Tondauer 1
Toneingabeschleife 38
Tonlänge 5
Tonsequenz 36
Transponierung 54
Tremolo 19

VCF 87



Howard Franklin, Joanne Koltnow und LeRoy Finkel

Spielprogramme für den APPLE IIe

Spiele sowie Anleitungen, Techniken und Unterprogramme für die Eigenentwicklung von Spielen. 1984. VIII, 128 S. 16,2 X 22,9 cm. Br.

Inhalt: Melodien und Klangeffekte – Die niederauflösende Grafik – Bilder in LORES-Grafik – Hochauflösende Grafik – Programme zur Dateneingabe – Wortspiele – Weitere Spiele – RE-NUMBER/MERGE-Hilfsprogramme – Randbemerkungen zum Programmieren der Spiele – Hinweise zu den Programmlistings – Das Entwickeln von Programmen.

Das Buch lehrt das Programmieren von Spielen, zeigt Aufbau, stufenweise Entwicklung und Ausbau von Computerspielen und stellt notwendige Unterprogramme und Techniken zur vollständigen Ausnutzung der Grafikmöglichkeiten vor. Man lernt seinen Bildschirm mit selbst entworfenen Bildern auszustatten und diese mit Musik und Klangeffekten zu kombinieren. Schließlich wird gezeigt, wie der Rechner zum Lehren und Lernen benutzt wird: in spielerischer Form lernen Kinder den Aufbau von Sprache und Zahlen, konstruieren Wortspiele und ganze Schichten.

Disketten-Set Spielprogramme für den APPLE IIe

Zwei 5 1/4" Disketten.

VIEWEG

Mikrocomputer-Literatur

Johann Weilharter

Spaß mit Algorithmen

Hrsg. von Harald Schumny. 1984. Ca. 150 S. mit 42 Progr. 16,2 X 22,9 cm. Br.

Inhalt: Zahlentheorie – Aussagenlogik – Rekursions- und Iterationsverfahren – Spiele – Netzplantechnik.

Der Band enthält anschauliche Problemanalysen mit ausführlicher Dokumentation in unterhaltsamer Weise in der Programmiersprache BASIC.

Wolfgang Schneider

BASIC für Fortgeschrittene

Textverarbeitung, Arbeiten mit logischen Größen, Computersimulation, Arbeiten mit Zufallszahlen, Unterprogrammtechnik. 1982. IX, 189 S. mit zahlr. Beisp. und 10 vollst. Progr. 16,2 X 22,9 cm. Br.

Inhalt: BASIC-Sprachelemente – Textverarbeitung – Verarbeitung von logischen (Booleschen) Größen in BASIC – Arbeiten mit Zufallszahlen in BASIC – Unterprogrammtechnik in BASIC – Vollständig programmierte Beispiele – Lösungen der Übungsaufgaben.

Dieses Buch ist ein Aufbauband zu dem Grundlagenband „Einführung in BASIC". Er setzt Grundkenntnisse in der Programmiersprache BASIC voraus und hilft, diese in speziellen Bereichen zu erweitern.

Seit moderne Mikrocomputer über einen oder mehrere Tongeneratoren verfügen, besteht der Wunsch, auch diese Möglichkeiten des Computers zu nutzen.

Dieses Buch bietet dem Leser

- einen Einstieg in die funktionellen Zusammenhänge bei der Klangerzeugung
- eine Erläuterung von Problemen und Problemlösungen beim „Musizieren" mit Mikrocomputern
- „schlüsselfertige" Programme
  - Klangsynthese
  - Melodieeingabe
  - Melodie abspielen

Der programmtechnische Rahmen läßt dem Benutzer genügend Raum für die Eigeninitiative und Weiterentwicklung der vorliegenden Programme. Außerdem lassen sich Programmteile als Bausteine in anderen Programmzusammenhängen verwenden (Module).

ISBN 3-528-04277-X